

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Сумський державний університет  
Шосткинський інститут

**А. В. Булашенко**

# **ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів напряму 0502 «Системна інженерія»  
спеціальності 6.050201

«Комп'ютеризовані системи управління та автоматики»  
усіх форм навчання

Затверджено на засіданні кафедри  
системотехніки та інформаційних  
технологій як конспект лекцій з  
дисципліни «Основи наукових до-  
сліджень».

Протокол № 1 від 31.08.2010 р.

Суми  
Сумський державний університет  
2011

Основи наукових досліджень: конспект лекцій / укладач  
А. В. Булашенко. – Суми: Сумський державний університет,  
2011. - 92с.

Кафедра системотехніки та інформаційних технологій ШСумДУ

# ЗМІСТ

С.

Список використаних скорочень .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ДИСЦИПЛІНИ</b> .....	13
1.1. Мета та завдання вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень».....	13
1.2. Значення науково-обумовлених методів .....	14
1.3 Основні поняття дисципліни .....	15
<b>2. ОСНОВНІ НАВЧАЛЬНІ КОНЦЕПЦІЇ ОДЕРЖАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	16
2.1. Теоретико-аналітичний підхід .....	16
2.2. Експериментально-статистичний підхід. ....	18
Науковий експеримент. Теорія планування експерименту ....	18
2.3. Обчислювальний експеримент. Основні етапи проведення обчислювального експерименту.....	20
2.4. Евристичний підхід .....	22
2.5. Пошук необхідної інформації на тему дослідження з існуючих джерел.....	23
<b>3. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ’ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	23
3.1. Формалізація об’єкта дослідження. Поняття складних систем, процесу, об’єкта .....	23
3.2. Головні системні властивості складних систем .....	26
3.3. Використання методології системного аналізу.....	29
<b>4. ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПОШУКОВОГО КОНСТРУЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	30
4.1. Основні задачі пошукового конструювання та технології.....	30
4.2. Загальна постановка задачі оптимізації та математичного моделювання складних систем .....	31
4.3. Вимоги до методології оптимізації та математичного моделювання до прикладної діяльності дослідження, конструктора, технологів.....	35

4.4. Програмне забезпечення розв'язання задач оптимізації та математичного моделювання .....	36
<b>5. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ЗГЛАДЖУВАННЯ .....</b>	<b>37</b>
5.1. Основні поняття та визначення .....	37
5.2. Алгоритм оптимізації складних систем методом випадкового пошуку. Використання ЛП <sub>τ</sub> рівномірно розподілених послідовностей (РРП) .....	38
5.3. Приклад проведення оптимізації складної системи методом випадкового пошуку .....	40
<b>6. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЛАСОМ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ</b>	
$(1+X_1) \cdot (1+X_2) \cdot \dots \cdot (1+X_k)$ .....	41
6.1. Принципи побудови математичних моделей структурної складності. Структурна модель $(1+x_1) \cdot (1+x_2) \cdot \dots \cdot (1+x_k)$ .....	41
6.2. Визначення коефіцієнтів. Аналіз і перевірка моделей на адекватність, інформативність, стійкість та статичну ефективність .....	43
6.3. Скорочення необхідних витрат для одержання вихідних даних – експеримент $2^{k-p}$ .....	45
<b>7. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЛАСОМ МОДЕЛЕЙ БУДЬ-ЯКОГО ВИСОКОГО ПОРЯДКУ .....</b>	<b>48</b>
7.1. Основні поняття та визначення. ....	48
Багатофакторні регулярні плани експерименту .....	48
7.2. Багатофакторні регулярні плани експерименту. Принципи побудови математичних моделей .....	51
Значення коефіцієнтів .....	53
7.3. Визначення коефіцієнтів, аналіз і перевірка математичних моделей .....	55
7.4. Вибір оптимальних початкових умов для одержання моделі високого порядку .....	58
7.5. Приклади математичного моделювання систем і процесів моделями високого порядку .....	59
<b>8. МЕТОДИ АКТИВІЗАЦІЇ ТВОРЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ</b>	
<b>ВИНАХІДНИКА .....</b>	<b>61</b>
8.1. Алгоритм і теорія вирішення винахідницьких завдань ...	61

8.2. Морфологічний аналіз та послідовність його проведення .....	65
8.3. Функціонально-кошторисний аналіз. Послідовність проведення .....	67
<b>9. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРЕДАЧА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....</b>	<b>71</b>
9.1. Основні вимоги до оформлення результатів наукового дослідження.....	71
9.2. Впровадження результатів дослідження у виробництво .	73
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>73</b>
Питання з дисципліни «Основи наукових досліджень» .....	74
Типові теми розрахунково-графічних робіт .....	76
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>78</b>
Додаток А.....	84
Додаток Б .....	86
Додаток В.....	87
Додаток Г .....	88
Додаток Д.....	90

## Список використаних скорочень

АРВЗ – алгоритм рішення винахідницьких завдань

МПР – матеріально-польові ресурси

ІКР – ідеальне кінцеве рішення

ЛЕСМІ – лабораторія експериментально-статистичних методів досліджень

БРП – багатофакторні регулярні плани

НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи

НДР – науково-дослідні роботи

ОЧ – оперативний час

ОЗ – оперативна зона

ДКР – дослідно-конструкторські роботи

ПРІАМ – планування, регресія і аналіз моделей

ПЗ – програмні засоби

РРП – рівномірно-розподілені послідовності

ТПЕ – теорія планування експерименту

ТРВЗ – теорія рішення винахідницьких завдань

ФП – фізичні протиріччя

ФВА – функціонально-вартісний аналіз

## ВСТУП

Кожен фахівець повинен мати уявлення про методикау та організацію науково-дослідницької діяльності, про науку та основні її поняття.

Наука – це сфера людської діяльності, спрямована на вироблення нових знань про природу, суспільство і мислення.

Як специфічна сфера людської діяльності вона є результатом суспільного розподілу праці, відокремлення розумової праці від фізичної, перетворення пізнавальної діяльності в особливу галузь занять певної групи людей. Необхідність наукового підходу до всіх видів людської діяльності змушує науку розвиватися швидшими темпами, ніж будь-яку іншу галузь діяльності.

Поняття "наука" включає в себе як діяльність, спрямовану на здобуття нового знання, так і результат цієї діяльності – суму здобутих наукових знань, що є основою наукового розуміння світу. Науку ще розуміють як одну із форм людської свідомості. Термін "наука" застосовується для назви окремих галузей наукового знання.

Закономірності функціонування та розвитку науки, структури і динаміки наукового знання та наукової діяльності, взаємодію науки з іншими соціальними інститутами і сферами матеріального й духовного життя суспільства вивчає спеціальна дисципліна – наукознавство.

Одним з основних завдань наукознавства є розроблення класифікації наук, яка визначає місце кожної науки в загальній системі наукових знань, зв'язок усіх наук. Найпоширенішим є розподіл усіх наук на науки про природу, суспільство і мислення.

Наука виникла в момент усвідомлення незнання, що у свою чергу, викликало об'єктивну необхідність здобуття знання. Знання – перевірений практикою результат пізнання дійсності, адекватне її відбиття у свідомості людини. Це – ідеальне відтворення умовною формою узагальнених уявлень про закономірні зв'язки об'єктивної реальності.

Процес руху людської думки від незнання до знання називають пізнанням, в основі якого лежить відбиття і відтворення у свідомості людини об'єктивної дійсності. Наукове пізнання — це дослідження, яке характерне своїми особливими цілями і задачами, методами отримання і перевірки нових знань. Воно сягає сутності явищ, розкриває закони їх існування та розвитку, тим самим зазначаючи практиці можливості, шляхи і способи впливу на ці явища та зміни згідно з їхньою об'єктивною природою. Наукове пізнання покликане освітлювати шлях практиці, надавати теоретичні основи для вирішення практичних проблем.

Основою і рушійною силою пізнання є практика, вона дає науці фактичний матеріал, який потребує теоретичного осмислення. Теоретичні знання створюють надійну основу розуміння сутності явищ об'єктивної дійсності.

Діалектика процесу пізнання полягає в протиріччі між обмеженістю наших знань і безмежною складністю об'єктивної дійсності. Пізнання – це взаємодія суб'єкта й об'єкта, результатом якого є нове знання про світ. Процес пізнання має двоконтурну структуру: емпіричні і теоретичні знання, які існують в тісній взаємодії та взаємообумовленості.

Істинні знання існують як система принципів, закономірностей, законів, основних понять, наукових фактів, теоретичних положень і висновків. Тому істинне наукове знання об'єктивне. Разом з тим наукове знання може бути відносним або абсолютним. Відносне знання – це знання, яке, будучи в основному адекватним відображенням дійсності, відрізняється певною неповнотою збігу образу з об'єктом. Абсолютне знання – це повне, вичерпне відтворення узагальнених уявлень про об'єкт, що забезпечує абсолютний збіг образу з об'єктом. Безперервний розвиток практики унеможлиблює перетворення знання на абсолютне, але дає змогу відрізнити об'єктивно істинні знання від помилкових поглядів.

Наука як специфічна діяльність, спрямована на отримання нових теоретичних і прикладних знань про закономірності розвитку природи, суспільства і мислення, характеризується такими основними ознаками:



- наявністю систематизованого знання (наукових ідей, теорій, концепцій, законів, закономірностей, принципів, гіпотез, основних понять, фактів);
- наявністю наукової проблеми, об'єкта і предмета дослідження;
- практичною значущістю як явища (процесу), що вивчається, так і знань про нього.

Розглянемо основні поняття науки.

Наукова ідея – інтуїтивне пояснення явища (процесу) без проміжної аргументації, без усвідомлення всієї сукупності зв'язків, на основі яких робиться висновок. Вона базується на наявних знаннях, але виявляє раніше не помічені закономірності. Наука передбачає два види ідей: конструктивні й деструктивні, тобто ті, що мають чи не мають значущості для науки і практики. Свою специфічну матеріалізацію ідея знаходить у гіпотезі.

Гіпотеза – наукове припущення, висунуте для пояснення будь-яких явищ (процесів) або причин, які зумовлюють даний наслідок. Наукова теорія включає в себе гіпотезу як вихідний момент пошуку істини, що допомагає суттєво економити час і сили, цілеспрямовано зібрати і згрупувати факти. Розрізняють нульову, описову (понятійно-термінологічну), пояснювальну, основну робочу і концептуальну гіпотези. Якщо гіпотеза узгоджується з науковими фактами, то в науці її називають теорією, або законом.

Гіпотези (як і ідеї) мають імовірнісний характер і проходять у своєму розвитку три стадії:

- накопичення фактичного матеріалу і висунення на його основі припущень;
- формулювання гіпотези і обґрунтування на основі припущення прийнятної теорії;
- перевірка отриманих результатів на практиці і на її основі уточнення гіпотези;

Якщо при перевірці результат відповідає дійсності, то гіпотеза перетворюється на наукову теорію. Гіпотеза висувається з надією на те, що вона, коли не цілком, то хоча б частково стане достовірним знанням.

Закон – внутрішній суттєвий зв'язок явищ, що зумовлює їх закономірний розвиток. Закон, винайдений через здогадку, необхідно потім логічно довести, лише в такому разі він визнається наукою. Для доведення закону наука використовує судження.

Судження – думка, в якій за допомогою зв'язку понять стверджується або заперечується що-небудь. Судження про предмет або явище можна отримати або через безпосереднє спостереження будь-якого факту, або опосередковано – за допомогою умовиводу.

Умовивід – розумова операція, за допомогою якої з певної кількості заданих суджень виводиться інше судження, яке певним чином пов'язане з вихідним.

Наука – це сукупність теорій. Теорія – вчення, система ідей, поглядів, положень, тверджень, спрямованих на тлумачення того чи іншого явища. Це не безпосереднє, а ідеалізоване відображення дійсності. Теорію розглядають як сукупність узагальнюючих положень, що утворюють науку або її розділ. Вона виступає як форма синтетичного знання, в межах якого окремі поняття, гіпотези і закони втрачають колишню автономність і перетворюються на елементи цілісної системи.

До нової теорії висуваються такі вимоги:

- адекватність наукової теорії описуваному об'єкту;
- можливість замінювати експериментальні дослідження теоретичними;
- повнота опису певного явища дійсності;
- можливість пояснення взаємозв'язків між різними компонентами в межах даної теорії;
- внутрішня несуперечливість теорії та відповідність її дослідним даним.

Теорія являє собою систему наукових концепцій, принципів, положень, фактів.

Наукова концепція – система поглядів, теоретичних положень, основних думок щодо об'єкта дослідження, які об'єднані певною головною ідеєю.

Концептуальність – це визначення змісту, суті, смислу того, про що йде мова.

Під принципом у науковій теорії розуміють найабстрактніше визначення ідеї. Принцип – це правило, що виникло в результаті об'єктивно осмисленого досвіду.

Поняття – це думка, відбита в узагальненій формі. Воно відбиває суттєві й необхідні ознаки предметів та явищ, а також взаємозв'язки. Якщо поняття увійшло до наукового обігу, його позначають одним словом або використовують сукупність слів – термінів. Розкриття змісту поняття називають його визначенням. Останнє має відповідати двом найважливішим вимогам:

- вказувати на найближче родове поняття;
- вказувати на те, чим дане поняття відрізняється від інших понять.

Поняття, як правило, завершує процес наукового дослідження, закріплює результати, отримані вченим особисто у своєму дослідженні. Сукупність основних понять називають понятійним апаратом тієї чи іншої науки.

Науковий факт – подія чи явище, яке є основою для висновку або підтвердження. Він є елементом, який у сукупності з іншими становить основу наукового знання, відбиває об'єктивні властивості явищ та процесів. На основі наукових фактів визначаються закономірності явищ, будуються теорії і виводяться закони.

Рух думки від незнання до знання керується методологією. Методологія наукового пізнання – вчення про принципи, форми і способи науково-дослідницької діяльності. Метод дослідження – це спосіб застосування старого знання для здобуття нового знання. Він є засобом отримання наукових фактів.

Наукова діяльність – інтелектуальна творча діяльність, спрямована на здобуття і використання нових знань. Вона існує в різних видах:

- 1) науково-дослідницька діяльність;
- 2) науково-організаційна діяльність;
- 3) науково-інформаційна діяльність;
- 4) науково-педагогічна діяльність;
- 5) науково-допоміжна діяльність та ін.

Кожен із зазначених видів наукової діяльності має свої специфічні функції, завдання, результати роботи.

У межах науково-дослідницької діяльності здійснюються наукові дослідження. Наукове дослідження – цілеспрямоване пізнання, результати якого є системою понять, законів і теорій.

Розрізняють дві форми наукових досліджень: фундаментальні та прикладні. Фундаментальні наукові дослідження – наукова теоретична та (або) експериментальна діяльність, спрямована на здобуття нових знань про закономірності розвитку та взаємозв'язку природи, суспільства, людини. Прикладні наукові дослідження – наукова і науково-технічна діяльність, спрямована на здобуття і використання знань для практичних цілей.

Наукові дослідження здійснюються з метою одержання наукового результату. Науковий результат – нове знання, здобуте в процесі фундаментальних або прикладних наукових досліджень та зафіксоване на носіях наукової інформації у формі наукового звіту, наукової праці, наукової доповіді, наукового повідомлення про науково-дослідну роботу, монографічного дослідження, наукового відкриття тощо. Науково-прикладний результат – нове конструктивне чи

технологічне рішення, експериментальний зразок, закінчене випробування, яке впроваджене або може бути впроваджене у суспільну практику. Науково-прикладний результат може мати форму звіту, ескізного проекту, конструкторської або технологічної документації на науково-технічну продукцію, натурального зразка тощо.

Суб'єктами наукової діяльності є: вчені, наукові працівники, науково-педагогічні працівники, а також наукові установи, наукові організації, вищі навчальні заклади III–IV рівнів акредитації, громадські організації у сфері наукової та науково-технічної діяльності.

Науково-дослідницькою діяльністю займається значна кількість людей. Тих, хто робить це постійно, називають дослідниками, науковцями (науковими працівниками), вченими.

Дослідником називають людину, яка здійснює наукові дослідження. Науковець – це той, хто має відношення до X науки,

виробляє нові знання, є спеціалістом у певній галузі науки. Вчений – фізична особа, яка провадить фундаментальні та (або) прикладні наукові дослідження з метою здобуття наукових та (або) науково-технічних результатів. Науковий працівник – вчений, який за основним місцем роботи та відповідно до трудового договору професійно займається науковою, науково-технічною або науково-педагогічною діяльністю та має відповідну кваліфікацію, підтверджену результатами атестації.

Люди науки мають відповідну спеціальність і кваліфікацію, працюють як самотужки, так і об'єднуючись у наукові колективи (постійні чи тимчасові), створюють наукові школи.

## **1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ДИСЦИПЛІНИ**

### **1.1. Мета та завдання вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень»**

*Мета вивчення дисципліни* – оволодіння сучасними методами наукової інформації для створення наукоємної продукції, високих технологій, інтелектуальних засобів вимірювання нових матеріалів, вивчення, опис і прогнозування реальної та створюваною людиною дійсності.

Наукова інформація зводиться до мінімуму споживання фізичних ресурсів, дійсних енергетичних та тимчасових просторів, створює системні ресурси: функціональні, цільові, оптимізаційні, енергетичні. Системні ресурси дозволяють принципово змінити систему, процес і наблизити цю систему до ідеальної.

*Завдання дисципліни «Основи наукових досліджень»*

1. Оволодіння знаннями, необхідними для виконання науково-дослідних і дослідних конструкторських робіт (НДДР).

2. Одержання навичок організованого опису складних систем і процесів. Це лідер багатofакторного математичного моделювання багатоматеріальної компромісної організації.

3. Вивчення методології поводження комплексних, багатofакторних і багатокритеріальних експериментальних досліджень із метою створення найкращих виробів технологічного устаткування приладів, та інструментів.

## **Основні завдання прискорення науково-технічного прогресу та розвиток науки**

Перед промисловістю України стоїть завдання освоєння випуску виробів, техніки, побутових приладів, які б найкраще відповідали за надійністю, споживанням енергії, тривалістю експлуатації. Основним завданням держави повинні бути не продаж сировини, не оброблена сільськогосподарська продукція, а зразки приладів, які б були конкурентоспроможними на світовому ринку.

Для випуску, для розроблення сучасних високих технологій необхідне проведення комплексних науково-дослідних, дослідницьких конструкторських робіт. Необхідно, щоб продукція була трудомістка, необхідні низька її собівартість і висока надійність.

### **1.2. Значення науково-обумовлених методів**

Значення науково-обумовлених методів для одержання нової інформації, для вдосконалення технічних, технологічних та організаційних систем на підставі опублікованих джерел, ефективність одержання інформації:

- у 3 рази вища від ефективності утворення;
- у 6 разів вища для науково-технічного прогресу;
- у 12 разів вища від вкладення капіталу;
- у 18 разів вища від експлуатації нерухомості.

Основні наукові концепції одержання наукової інформації при проведенні досліджень

1. Теоретико-аналітичний підхід.
2. Експериментальний статистичний підхід.
3. Обчислювальний експеримент.
4. Евристичний підхід.
5. Пошук необхідної інформації з існуючих джерел.

### 1.3 Основні поняття дисципліни

**Наука** – сфера людської діяльності, функцією якої є вироблення і теоретична систематизація об'єктивних знань про дійсність.

У ході свого розвитку наука перетворюється у виробничу сферу суспільства та найважливіший соціальний інститут.

Мета науки:

- опис;
- пояснення;
- прогнозування дійсності на основі наукових законів, що відкривають, і теоретичне відбиття дійсності.

**Теорія** (із грецького – розгляд, дослідження) – комплекс поглядів, подань, людей, спрямованих на тлумачення та пояснення якого-небудь явища.

У вузькому та спеціальному курсі вища найрозвиненіша форма організації наукового знання, що дає цілісне подання про закономірності та істотні зв'язки певної області дійсності, тобто об'єкта даної теорії.

Одним із розділів «філософії» є теорія пізнання (гносеологія), що вивчає проблеми природи та теорії пізнання, відношення знання до реальності, використання загальних передумов пізнання, виявлення умов його імовірності та істинності.

Критерієм правильності теорії є практика.

**Практика** (із грецького – діяльний, активний) – матеріальна, чуттєво-предметна, цілепокладаюча діяльність людини, що має своїм змістом освоєння і перетворення природних і соціальних об'єктів, і складова загальної основи рушійних сил розвитку людського суспільства та сил пізнання.

Тут слово «матеріальна» є безпосереднім зв'язком з реальністю.

## 2. ОСНОВНІ НАВЧАЛЬНІ КОНЦЕПЦІЇ ОДЕРЖАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Теоретико-аналітичний підхід

*Аксіома* (із грецького – прийняте положення) – положення деякої даної теорії, що при дедуктивній побудові цієї теорії не доводиться в ній, а приймається за вихідне, що лежить в основі доказів інших пропозицій цієї теорії.

Уперше слово аксіома виникло у математиці.

*Аксіоматичний метод* – спосіб побудови наукової теорії, при якій у неї закладають вихідні положення або постулати, з яких всі інші твердження цієї теорії повинні виводиться чисто логічним шляхом за допомогою доказів.

У процесі наукового вивчення будь-якої дійсності, у тому числі технічно, технологічно використовують абстрагування та ідеалізацію.

#### *Абстракція*

1. Метод наукового дослідження, що базується на тому, що при вивченні деякого явища або процесу не враховуються його несуттєві сторони та ознаки. Абстракція дозволяє спростити картину досліджуваного явища та об'єкта й розглянути його неначе в «чистому вигляді».

2. Продукт пізнання – поняття, опис, закон, модель, ідеальний об'єкт і т.д., розглянутий у протиставленні із конкретною емпіричною дійсністю, що не фіксується у цьому продукті у всьому багатстві своїх властивостей зв'язку.

3. Пізнавальна діяльність – процес абстрагування, спрямований на одержання абстракції.

Абстрагування - неминуче прийняття наукового пізнання.

#### *Ідеалізація*

Процес ідеалізації – уявне конструювання понять про об'єкти неіснуючих та нездійснених у дійсності, але таких, для яких є перетворення у реальному світі.

Ідеалізація вводить такі ознаки, властивості, які, в принципі, не можуть належати їх реальним перетворенням. Широко ві-



домі ідеальні об'єкти: точка, пряма лінія (довжина без товщини та ширини), абсолютно чорне тіло, ідеальна рідина, газ, кристал.

### **Логічне виведення**

При одержанні логічних виведень використовують такі поняття, як дедукція та індукція.

**Дедукція** – загальна назва логічних методів, що дозволяють виводити нові твердження з деяких вихідних тверджень.

У математиці дедуктивне вирахування відповідає поняттю вирахувань.

**Індукція** (з латинського – наведення, спонукання) – розумове виведення від власних факторів до деяких гіпотез, до загального твердження.

Індукція у математиці – те саме, що і математична індукція.

**Формалізація** – подання явищ об'єктів, явищ у знаковій формі будь-якої штучної мови, що використовується у математиці, хімії, фізиці, та забезпечення можливості досліджень властивостей реальної дійсності за допомогою формального дослідження знакового опису.

Формалізована модель повинна бути ізоморфна реальній дійсності.

Нехай є кілька критеріїв якості  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N, \dots$ . Деякі виробы характеризуються 20-30 критеріями якості

$$Y(y_1, y_2, \dots, y_p) \rightarrow \text{extr} \text{ (екстремальні)}.$$

Формальний запис означає, що необхідно коротко записати мету, яку хочемо досягти при вирішенні заданого завдання.

Формальна форма запису математичної моделі

$$\overline{y_j} = f_j(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

де  $j$  – означає, що це певна функція;  $f$  – символічний запис структури, що ми повинні знати;  $x$  – натуральне значення факторів;  $k$  – максимальне значення факторів.

Теоретико-аналітичний підхід дозволяє вирішити завдання виходячи з передумов, правил вибору. Математика не відповідає на запитання: « чи виконуються передумови?». При цьому потрібно враховувати:

- відповідність, передумови;
- реалізація або абстрагування, які допущені, не повинні істотно змінювати властивість об'єкта.

*Теорема доктора Джона Белла*

Якщо деякий об'єктивний всесвіт існує, то рівняння квантової механіки подібні до цього всесвіту структурно.

*Наслідок із теореми:*

Частинки знають одна про одну, не втрачають зв'язку одна з одною. Звідси випливає, якщо частинка розпалася на дві частинки, то між ними є якийсь зв'язок, тобто інформаційний.

Розглядаючи логічні праці Белла, можна дійти висновку, що існують поля, механічна сила та енергія, які зв'язують цю частинку в єдину силу. Таким чином, система функціонує як єдина система та не вимагає витрат енергії.

У середні століття (15-17-те століття) над цим сперечалися, це доводили. Але усе це були лише слова. Потрібні були ідеї, які б мали об'єктивний (корисний) характер. Існує така теза: «експериментальними методами одержують інформацію».

## 2.2. Експериментально-статистичний підхід.

### Науковий експеримент. Теорія планування експерименту

***Науковий експеримент*** – штучно створювана система, взаємозв'язок дійсних та логічних компонентів, призначена для зміни реальної дійсності у відносно ізольованих і контрольованих умовах із безпосередньою метою емпіричного пізнання.

Дійсні компоненти у даному визначенні означають установки, прилади, інструменти. Логічні компоненти – ідея проведення даного експерименту, критерій якості, кількість експериментів, які експерименти будемо проводити, повторні експерименти, плани експерименту.

Вчені стверджують, що експеримент – це питання, що задаємо природі, а одержуємо у записі те, що дають нам вимірювальні системи.

### *Вимоги до експериментів*

1. Експеримент повинен бути інтерпретованим, і повинна бути впевненість, що можна розібратися в експерименті.
2. Експеримент завжди містить ряд похибок.
3. Експеримент у вигляді фіксації результатів не має загальних характеристик, тобто ніколи не може бути абсолютної ізоляції і контролю (завжди обмежений за точністю).

Проблема проведення експериментальних досліджень у наукових, технічних галузях визначає науковий, технічний потенціал держави (перероблення, транспортування). У 20-ті та 30-ті роки ХХ ст. у галузі агробіологічних досліджень фахівець у галузі статистичної генетики Рональд Фішер написав працю «Основи дисперсійного аналізу та теорія планування експерименту».

Система проведення експериментів в агробіології повинна бути багатофакторна (один параметр змінюємо, а інші фіксуємо).

Однофакторний експеримент не дає гарних результатів, тому що не має взаємодії факторів.

Взаємодія – важливий елемент, що називається енергентністю.

Енергентність (від латинського – виникаючий) – це ефект, що виникає незалежно від того, планується він чи ні.

***Теорія планування експерименту*** – розділ математичної статистики, що системно вивчає оптимальні схеми постановки та проведення комплексних багатофакторних експериментальних досліджень складних об'єктів, систем, процесів, а також обробку та інтерполяцію отриманих результатів.

Залежно від постановки експерименту можна одержати інформацію. Оптимальна схема постановки та виявлення для даних факторів намагається визначити план експерименту, що відповідає критеріям якості статистичного характеру.

Методи теорії планування експерименту необхідно використовувати у завданні оптимізації та моделювання. «Інтереси» кожного критерію враховують для об'єктивної оцінки експерименту.

Типові класи завдань, розв'язувані з використанням теорії планування експерименту:

1. Виділення статистично значущих факторів.
2. Багатокритеріальна компромісна оптимізація. Компроміс Вальфредо Паретто.

Реальна оптимізація повинна бути оптимальна, тобто вона повинна використовувати всі критерії.

3. Багатофакторне математичне моделювання.
4. Виключення джерел неоднорідності або зменшення сили їх впливу.
5. Комплексне порівняння показників якості об'єктів дослідження.

### *Прикладна статистика*

Розв'язання багатьох технічних та технологічних завдань ускладнюється або неможливе відомими стандартними методами. Дослідники робіт у галузі статистичних методів змушені розробляти та пропонувати такі методи розв'язання, які не повною мірою або не зовсім теоретично обґрунтовані. Такі методи відносять до методів прикладної статистики. Була запропонована інша назва аналізу даних «складаний ніж», «ящик із аркушами».

Кількість статистичних методів обмежена, а прикладних завдань багато. Деякі вчені вирішують завдання своїми методами.

## **2.3. Обчислювальний експеримент. Основні етапи проведення обчислювального експерименту**

### *Основні етапи проведення обчислювального експерименту*

1. Розроблення якісної змістовної моделі досліджуваного явища, процесу, предмета та галузі.

Якісна у цьому випадку – це терміни, умовні позначення, запис гіпотетичної моделі у математичній формі.

2. Створення математичної моделі, що формалізовано описує предметну галузь.

Тут виходять із такого припущення. Нехай модель буде спрощеною, але реальною.

3. Вивчення математичного завдання розглянутої моделі, вивчення дійсності через модель.

4. Розроблення алгоритмів для одержання та розв'язання завдань на ЕОМ.

5. Розроблення програмного забезпечення та реалізація його на ЕОМ.

6. Одержання шуканих результатів, їх аналіз і накоплення необхідної інформації із предметної галузі дослідження.

Отримані результати треба співвіднести із предметною галуззю.

7. Керування явищем, процесом на базі отриманої інформації та уточнення отриманої моделі.

Формулювання формалізації для прикладного (промислового) дослідження, реальне використання.

Розглянемо основні положення обчислювального експерименту.

**Обчислювальний експеримент** – наведення розрахунку на основі створеної математичної моделі (моделей), явища, процесу з метою вивчення прогнозування, оптимізації модульованих критеріїв якості.

Центральною частиною обчислювального експерименту є модель-алгоритм-програма. Обчислювальний експеримент розглядається вченими як нова технологія, виробництво, знання, інформація. Обчислювальний експеримент використовується у тих випадках, коли проведення різного експерименту важке або неможливе (висока вартість, габарити, вплив на людину, природу, естетичність). Тут емітують поведження, вибирають деякі умови, здійснюються на комплексі обчислення статистичних характеристик.

**Моделювальний алгоритм** – короткий запис в операторній формі алгоритму.

Потрібне якісне правильне розуміння алгоритму з боку людини, щоб потім можна було закласти все у комп'ютер.

## 2.4. Евристичний підхід

**Евристика** (із грецького – відшукую, відкриваю) - спеціальні методи розв'язання задач.

Під евристикою розуміється організація процесу продуктивного творчого мислення.

Тут буде доцільним такий приклад. У класиків детективного жанру слідчий або учасник розслідування шляхом логічних міркувань дійде висновку, що є об'єктивним, а в інших немає таких висновків, тому що вони не були уважними, а отже, і логічними. Цей приклад показує творче мислення індивідуальних людей.

З наведеного прикладу видно, що евристика дає рекомендації.

Евристична концепція дозволяє скорочувати кількість розглянутих варіантів при пошуку розв'язання задач, які, видно звичайно відносяться до творчого. Евристика підвищує ймовірність розв'язання задач порівняно з інтуїтивним підходом, але не гарантує розв'язання будь-якого завдання з обраного класу задач. При використанні евристичних рекомендацій трудомісткість розв'язання зменшується (оскільки зменшуються часові витрати), творча продуктивність підвищується.

У книзі Джорджа Поя «Як розв'язати задачу» рекомендується починати розв'язання будь-якої задачі з її аналізу, шукати аналогічні задачі, дивитися, як вони розв'язані, та порівнювати зі своєю.

Так само великий внесок тут зробив Генріх Саулович Альшулер. Широко відомі його праці із розв'язання винахідницьких задач.

У цьому методі необхідно знайти напрямок мислення, тобто той напрямок, де його найімовірніше шукати.

## **2.5. Пошук необхідної інформації на тему дослідження з існуючих джерел**

До початку проведення наукового дослідження необхідно проаналізувати існуючі публікації за темою дослідження. Тут мається на увазі: книга, монографії, статті, кандидатські, докторські, дисертаційні роботи, матеріали із Інтернету.

Необхідно, щоб цими питаннями займався професіонал, обговорював їх із фахівцями, що займаються в цій галузі. Пошук можливий на семінарах, конференціях, виставках.

Існує нестандартний підхід до даного питання, що характеризує можливість одержання інформації з поля зору Всесвіту. Тут можна привести такі відомі імена як Нострадамус, Едгар Кейс. Інформація об'єктивно існує, і буде існувати, а деякі люди можуть її зчитувати за допомогою «словесного мозку».

## **3. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **3.1. Формалізація об'єкта дослідження. Поняття складних систем, процесу, об'єкта**

Під об'єктом дослідження будемо мати на увазі складні системи, об'єкти процеси.

Складність, як правило, звичайно характеризується числом елементів, з яких складається ця система, зв'язками між елементами цієї системи. Чим більші, складніше зв'язки, тим складніше поводить ся об'єкт. Зв'язки можуть бути детерміновані, імовірнісні та індетерміновані.

Індетерміновані зв'язки – це такі зв'язки, які характеризуються високим ступенем мінливості. Такі зв'язки не забезпечують надійності, тому є найбільш невдалими.

Детерміновані, або імовірнісні, зв'язки можуть бути реалізовані двома способами – теоретичним або шляхом одержання багатьох реалізацій.

Зв'язки між окремими елементами утворюють структуру складної системи.

Структура – сукупність істотних зв’язків між окремими частинами цілого, що зберігає свою єдність і незмінність у процесі функціонування.

Структура – необхідний атрибут, невід’ємна належність складній системі. Структура повинна відповідати реальній дійсності (ізоморфізм).

Дане визначення стосується постійних, у складних структурах структура буде змінною.

Як модель складної системи пропонується використати модель чорного ящика.

Модель складної системи зображено на рис. 1.

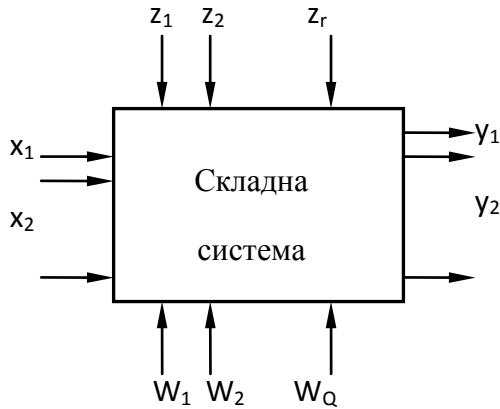


Рисунок 3.1

На рис. 3.1 подані такі позначення:  $x_1, \dots, x_k$  – керовані фактори;  $z_1, \dots, z_r$  – група некерованих факторів;  $W_1, \dots, W_Q$  – неконтрольовані фактори;  $y_1, \dots, y_p$  – критерії якості складної системи.

*Керовані фактори* – це такі фактори, які дослідник може змінювати у певних (можливих) межах. Керованими факторами дослідник може впливати на об’єкт.

*Некеровані фактори* – це такі фактори, якими не можна керувати, але можна замінити за необхідною точністю. Як правило, говорять, що це навколишнє середовище.



*Неконтрольовані фактори* – це такі фактори, інформація про які у момент підготовки експерименту відсутня. Ці фактори враховують той факт, що все врахувати неможливо.

Критерії якості складної системи можуть бути технологічні, економічні, екологічні, естетичні, ергономічні. Критеріїв якості необхідно. Складні системи вивчаються в основному шляхом використання експериментально-статистичного підходу.

***Основними завданнями зы складних систем є такі:***

1. Виділення статистичних значущих факторів.

(Якщо задача складна, то у дослідника відсутні фактори, які сильно впливають і які слабо впливають).

Використовується метод випадкового балансу, досліджений американським вченим Саттервайсом, і метод «Летючої стратегії».

2. Багатокритеріальна компромісна оптимізація.

Є 10 методів оптимізації, серед них є методи, з якими вже не працюють. Використаємо метод випадкового пошуку **набросного типу** із використанням ЛПТ рівномірної послідовності.

3. Багатофакторне математичне моделювання.

**ЛЕСМІ** – метод оптимізації досить сильний і дозволяє оптимізувати 10 факторів. Якщо оптимізується (10-15 факторів при доступній кількості досліджень (15), то змінюємо у математичній моделі тільки ті фактори, які змінюються у дійсності.

4. Проведення експериментів в умовах неоднорідності.

Умови повинні бути однорідні.

Нехай умови неоднорідні (наприклад, два верстати обладнання, дві партії). Потрібно одержувати інформацію про неоднорідності.

Було введено поняття «Розсіювання за малі, середні та великі проміжки часу».

Чим далі у просторі та у часі знаходяться експерименти, тим більше вони відрізняються.

5. Проведення конкурсного порівняння конкуруючих систем процесів об'єктів один з одним за декількома критеріями якості.

Потрібно з декількох конкурентноможливих товарів вибрати найкращі та бажано проранжувати від гіршого до найкращого.

Це інструмент для якісного аналізу продукції.

### 3.2. Головні системні властивості складних систем

Складні системи за своїми фізичними, механічними та іншими характеристиками різні.

**Номографічний підхід** – вивчення будь-яких представників даного класу, таких, щоб інші представники стосувалися до цього класу.

Наприклад, прямокутні трикутники.

Відомо близько 40 основних властивостей та особливостей складних систем.

1. Цілеспрямованість – створення та функціонування складної системи полягає у досягненні поставленої перед нею мети.

Мета виражається у вигляді критеріїв якості:  $y_1, y_2, \dots, y_p$ . Цю мету потрібно досягати компромісно.

2. Ефективність – полягає в тому, щоб набір критеріїв якості узагальнено виражався найкращими (тобто оптимальними) значеннями.

Кількісно:  $Y(y_1, y_2, \dots, y_p)$

Уведемо поняття «простір критеріїв якості», кожна з осей яких – це буде  $y_1, y_2, \dots, y_p$ ...

Для кожного критерію якості може бути введене поняття:

$y_1 \rightarrow \min, y_2 \rightarrow \max, y_{3\min} \leq y_3 \leq y_{3\max}$ .

Наприклад:

Собівартість повинна бути  $\min - y_1$ , а продуктивність повинна бути  $\max - y_2$ .

Завдання пошуку оптимального розв'язання зведеться до пошуку такого результату, який би відповідав найбільш близькому ідеальному недосяжному значенню

$$y_{j, \text{норм.}} = \frac{y_j - y_{j\min}}{y_{j\max} - y_{j\min}}$$

Це нормоване значення буде знаходитися у межах:

$$0 \leq y_{j,\text{норм.}} \leq 1, 1 \leq j \leq p,$$

де  $\min$  – це значення, що досягнуте в усіх розрахунках.

У нормованому просторі критеріїв якості кожен експеримент буде виражатися певною точкою та кожна точка буде мати свої критерії. Чим ця точка буде ближче до ідеальної, тим ця точка буде кращою.

3. Емергентність – це одна із найважливіших властивостей складних систем.

Термін «емергентність» означає, що з'являються із відтінком несподіванки, передбачуваності того, чого ми не очікували.

*Емергентність за критеріями якості:*

Якщо один критерій поліпшити, то інші погіршуються.

Формальний запис:

$$C_{cl} \neq \sum_{i=1}^k P_i,$$

де  $C_{cl}$  – система складна,  $P$  – підсистема.

Вивчення складних систем важко тому, що якщо вивчати підсистеми окремо, то системні властивості втратимо.

Якщо кожний із учасників команди буде зірка, то це не означає, що команда буде зірковою.

Властивість емергентності у моделях відображаються у взаємодіях.

**Взаємодія** – це добуток головних елементів:  $x_i \cdot x_j$ .

Більш складна взаємодія:

$$x_i^2 \cdot x_j^3 \cdot x_g^4.$$

4. *Функціональність* – принцип одержання необхідної інформації про системи за результатами, що проявляються при її функціонуванні.

5. *Цілісність* – необхідність розгляду повного набору взаємозалежних підсистем.

6. *Невизначеність* – відсутність необхідної інформації про фактичні властивості стану та функціонування складних систем

- значущість впливу факторів (сильні, слабкі або статистично незначущі);

- ймовірність властивості випадкових помилок і критеріїв якості;
- формалізований опис функціонування системи.

7. *Ієрархічність* – положення системи у ряді ієрархії (надсистема, система, підсистемою).

Ієрархія - аранжований ряд (якщо факультет розглядати як систему, університет буде надсистема).

Ієрархія впливає на цілі, що стоять перед системою, її зв'язки з іншими системами. Підсистеми не повинні працювати на себе, інакше тоді система не досягне цілі.

8. *Оптимальність* - відповідність вектора критерію якості екстремального значення

$$Y(y_1, y_2, \dots, y_p) \rightarrow \text{extr.}$$

Бажано, щоб система у кожен момент часу працювала там, де критерії якості будуть відповідати найкращому значенню.

*Гарна система* характеризується підсистемою, що стежить за цією системою.

9. *Складність*.

Складність характеризується:

- кількістю елементів, що входять до цієї системи;
- властивістю кожного елемента;
- структурою зв'язків між окремими підсистемами елементами.

Не завжди є імовірнісні зв'язки.

10. *Статистичність* – відповідність властивостей системи її функціонування імовірнісним властивостям.

11. *Багатокритеріальність* – це властивість системи, що характеризується тим, що її опис можливий лише багатьма критеріями якості:

- нижній рівень 5-10;
- середній рівень 15-20;
- високий рівень 30-40.

Можливі й інші основні характеристики складної системи.

Вивчення складної системи може бути довгим і не завжди знаходити відповідь.

### 3.3. Використання методології системного аналізу

Методологія системного аналізу використовується для прийняття рішень у складних взаємозалежних системах і процесах різної природи.

Звичайні явища: у складній системі не відбуваються чисті фізичні, чисті хімічні процеси.

Практично неможливо вивчати тільки фізику процесу, необхідно вивчати хімію, математику і т.д.

Використання системного підходу характеризується такими положеннями:

1. Необхідно використовувати багатофакторний підхід, тобто досліджувати складну систему, змінюючи багато факторів. Факторів стільки, скільки ми можемо врахувати. Нижній рівень має 10, а верхній – 20 факторів.

2. Складну систему потрібно характеризувати багатьма фактами.

3. При оптимальному моделюванні для опису складних систем необхідно виходити з основних властивостей й особливостей цих систем і не приписувати їм таких властивостей, якими вони не володіють, як це роблять рекламники та теоретики.

4. Опис моделювання складних систем повинен здійснюватися з використанням поняття «чорний ящик».

Зміст «чорного ящика» зводиться до того, що всі механізми вихідного повідомлення не відомі.

5. Варто фіксувати систему входів ( $x$ ) і систему виходів ( $y$ ) чорного ящика та встановлювати між  $X$  та  $Y$  модель, виходячи з апроксимації.

6. При створенні математичних моделей у випадку неможливості використання теоретико-аналітичного підходу необхідно використовувати методологію апроксимації.

*Апроксимація* – наближення.

Необхідно вибирати структуру математичної моделі, крок експерименту, а потім формувати структуру. Коефіцієнти знаходяться за допомогою методу найменших квадратів.

## 4. ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПОШУКОВОГО КОНСТРУЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

### 4.1. Основні задачі пошукового конструювання та технології

Фахівці у галузі створення наукоємних виробів високих технологій, інтелектуальних засобів вимірів вважають, що необхідно вирішити три основні задачі:

1 Вищий рівень задач – вибір або пошук найбільш ефективного фізичного принципу дій, що лежить в основі роботи функціонування виробу або процесу.

Припустимо, що треба порізати матеріал, можна використати методи, які існували давно, а ці методи характеризуються характеристиками, що теж давно існували.

Якщо необхідно розрізати трубу, то використовуються нові методи. При відвідуванні виставок видно, що матеріал можна різати лазерним променем або високошвидкісною рідиною.

Наприклад, у давнину передавали пошту людиною, що скакала на коні, потім з'явилися поштові поїзди (значно швидші), далі стали з'являтися спеціальні літаки, а тепер можна користуватися електронною поштою. У цьому полягає зміна фізичної основи, тобто передаємо аналог листа.

До того часу, поки будемо використовувати старі методи, ніколи не одержимо гарних результатів.

2 Вибір або пошук найбільш раціонального технічного рішення шляхом формування структури та принципу роботи, технічної системи, об'єкта або технологічного процесу (тут бажано застосовувати морфологічний аналіз).

3 Визначення оптимальних значень параметрів технічної, технологічної системи, об'єкта, процесу.

Для розв'язання всіх трьох задач необхідно використовувати основи наукових досліджень.

## 4.2. Загальна постановка задачі оптимізації та математичного моделювання складних систем

Виходячи з основних задач пошукового конструювання та технології необхідно використовувати оптимізацію та моделювання.

**Оптимізація** (із лат.– найкращий) – процес знаходження найкращого варіанта з безлічі можливих варіантів.

Часто зводиться до визначення екстремуму, тобто глобального мінімуму або максимуму залежно від постановки завдань.

Умовно в короткій формі можна записати так:

$$Y(y_1, y_2, \dots, y_p) \rightarrow \text{extr.}$$

Залежно від постановки завдання шукається або найбільш мінімальний або найбільш максимальний випадок. Завдання зводиться до визначення екстремуму.

У класичній математиці оптимізація здійснюється за наявною математичною моделлю. Мається на увазі, що такі моделі, отримані стосовно складних систем, опис яких теоретико-аналітичним підходом ускладнений або неможливий. Використовується експериментально-статистичний підхід та пошукові методи оптимізації.

Це принципово відрізняється від теоретико-аналітичного підходу. Тут одержуються результати розподілу.

Випадковим пошуком може бути безліч варіантів. Будемо вивчати випадковий пошук накиданого типу.

Програмні засоби можуть вирішувати такі завдання у реальній багатфакторній та багатокритеріальній обстановці.

Реальні складні системи повинні оптимізуватися за допомогою **компромісу «за Парето»**.

Якщо знайти кілька критеріїв і вони суперечливі, то необхідно шукати компромісне рішення.

**Математичне моделювання** – наближений опис певного класу об'єктів, процесів систем реального світу, що виражені за допомогою математичної символіки.

Під математичною символікою маються на увазі знаки, цифри, певні позначення, прийняті у математиці, іноді це скорочені слова (в основному латинь).

*Математична модель у загальному вигляді записується у такий спосіб:*

$$\hat{y}_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

де  $y$  - критерій якості;  $j$  - номер критерію якості;

$$1 \leq j \leq p,$$

де  $p$  – максимальний номер критерію якості;  $f$  – символ структури математичної моделі;

$$x_i, \quad 1 \leq i \leq p,$$

де  $x$  – натуральні значення.

Структура математичної моделі для багатofакторного випадку

$$(1 + X_1 + X_1^2 + \dots + X_1^{S_1-1}) \cdot \dots \cdot (1 + X_k + X_k^2 + \dots + X_k^{S_k-1}) \rightarrow N_{II}.$$

Це система повного факторного експерименту.

$S_1 \dots S_k$  – це число рівнів (рівень - це різні значення).

Чим більш складно поводитьься фактор, тим більше рівнів повинно бути.

Дана структура необхідна та достатня для одержання адекватної математичної моделі у точках апроксимації поверхні відгуку.

Наведена структура математичної моделі приводить до матриці Гільберта, що погано обумовлена. Таку структуру необхідно виражати у вигляді системи ортогональних поліномів Чебишева, що рівносильна системі ортогональних контрастів.

Коли порівняти матрицю лінійних рівнянь, то запишемо

$$x_0, x_1, \dots, x_1^{S_1-1}, \dots, x_k, x_k^2, \dots, x_k^{S_k-1}.$$

Погана обумовленість матриці зумовлена тим, що стовпці матриці корельовані між собою. Для того щоб стовпці були якнайменше корельовано, необхідно перейти до системи ортогональних контрастів:

$$(1 + x_1^{(1)} + x_1^{(2)} + \dots + x_1^{(S_1-1)}) \cdot \dots \cdot (1 + x_k^{(1)} + x_k^{(2)} + \dots + x_k^{(S_k-1)}) \rightarrow N_{II}.$$

Ці елементи - це ортогональні контрасти.



$$x_i^{(p)} = f_i^{(p)}(x_i^{(p)}), \quad 1 \leq p \leq (S_i - 1).$$

Якщо рівнів 5, то можна скласти поліном на 4 порядки.

Система ортогональних контрастів характеризується багатьма перевагами - це стійкість структури та коефіцієнтів математичної моделі, можливості статистичного незалежного оцінювання та інтерпретацій отриманих коефіцієнтів моделі.

Величина коефіцієнта показує силу впливу, а знак – напрямок впливу.

Для одержання математичних моделей складних систем необхідно використати теорію планування експерименту (ТПЕ).

**Теорія планування експерименту** дозволяє одержати математичні моделі із найкращими можливими властивостями.

Розглянемо оптимізацію складних систем із використанням принципу компромісу за Парето.

Будемо припускати, що складні системи характеризуються трьома групами критеріїв якості (рис. 4.1).

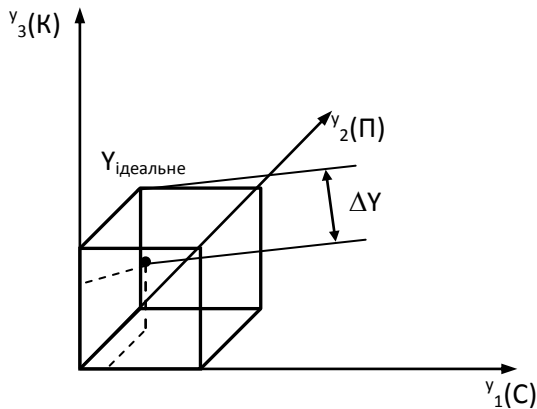


Рисунок 4.1

На рис. 4.1  $1 \leq j \leq 3$ ,  $\Delta Y = (\Delta C, \Delta П, \Delta К)$ ; С – собівартість; П – продуктивність; К – якість.

У просторі критеріїв якості будемо зображати значення  $y_1, y_2, y_3$  для різних об'єктів.

Критерії якості будемо нормувати

$$y_{jn} = \frac{y_j - y_{j\min}}{y_{j\max} - y_{j\min}},$$

$$0 \leq y_{jn} \leq 1.$$

До критеріїв якості висувають такі вимоги:

$$y_1(C) = \min,$$

$$y_2(\Pi) = \max,$$

$$y_3(K) \rightarrow \max,$$

$$y_{3\min} \leq y_3 \leq y_{3\max},$$

$$(y_{3cp} - y_3)^2 \rightarrow \min.$$

Будь-які інші вимоги до  $y$  можна звести до екстремальних (рис. 4.2):

$$\Delta Y = (\Delta C, \Delta \Pi, \Delta K),$$

$$\Delta Y = Y_{ид} - Y_{кп} = \sqrt{\Delta C^2 + \Delta \Pi^2 + \Delta K^2} \rightarrow \min.$$

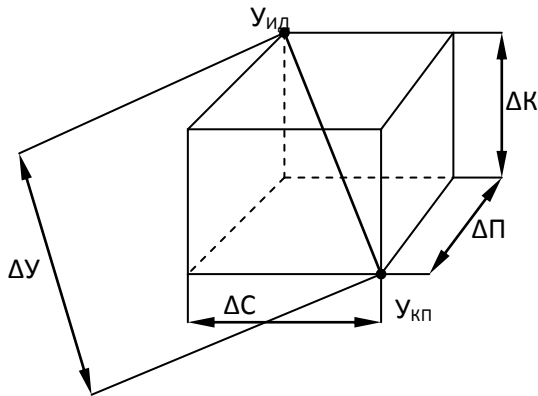


Рисунок 4.2

Для визначення оптимальних компромісних умов за багатьма критеріями якості одержуємо вихідну інформацію для певних точок факторного простору. Шукаємо точку, близьку до ідеальної. Кожну точку прораховуємо у нормованій системі коор-

динат. Вибираємо  $\Delta Y_{\min}$  за втратами, тоді наша точка буде якнайближче до компромісу Парето. Тому одержуємо стійку схему розв'язку завдання.

### **4.3. Вимоги до методології оптимізації та математичного моделювання до прикладної діяльності дослідження, конструктора, технологів**

Основні вимоги до оптимізації:

1. Точність пошуку екстремуму за факторами та критеріями якості.

2. Допустимі та необхідні витрати для пошуку екстремуму.

Свої дослідження необхідно порівнювати з існуючими. Чим менше витрати, тим краще (8, 16 рідко, 32 при використанні ЛП<sub>r</sub> рівномірно розподілених послідовностей).

У випадку проведення фізичного або обчислювального експерименту витрати повинні бути прийнятні, за відсутності оптимізацію не наводять.

3. Стійкість застосовуваного алгоритму пошуку рішення екстремума.

За будь-яких умов необхідно досить швидко знайти розв'язання, причому розв'язання стійке.

4. Надійність пошуку екстремуму за різних умов.

5. Для успішного пошуку рішення необхідне алгоритмічне та програмне забезпечення:

- програмний засіб ПРИАМ;
- ПС оптимального вибору .

*Методам математичного моделювання висувають такі вимоги:*

1. Доступність використання пропонованого методу за програмним забезпеченням та фактичним розв'язком задач.

2. Можливість одержання необхідного обсягу вихідної інформації при використанні експериментально-статистичного підходу або іншого прийняттого підходу.

Тут варто розуміти, що багато даних не потрібно, а досить буде близько 32.

3. Програма повинна забезпечити положення багатьох критеріїв якості, що визначені у математичних моделях.

Тут зміст полягає у тому, що необхідно навести щось, властивості чого не відомі.

У ПС «ПРІАМ» наводиться оптимізація за 10 критеріями якості.

#### **4.4. Програмне забезпечення розв'язання задач оптимізації та математичного моделювання**

Необхідно користуватися таким програмним забезпеченням, що є спеціалізованим програмним засобом, що розв'язує задачі певного класу.

*Переваги спеціалізованих програмних продуктів*

1. Наскрізна автоматична технологія обробки даних.

При розрахунку п'яти критеріїв якості необхідно задатися початковими умовами і розрахунки проводити помодельно.

2. Забезпечення високої надійності результатів за рахунок різноманітних перевірок.

Необхідно бути впевненим у правильності даних. Наприклад, результат повинен потрапляти у діапазон від мінімального значення до максимального.

3. Ефективний алгоритм визначення структури, рівняння регресії. Алгоритм RASTA3.

Залежно від того, що було отримано першого разу, відбувається корекція даних, завдання перераховується спочатку. Будь-які розв'язання задачі обробки можуть бути поставлені некоректно. Необхідно перевіряти, щоб виконувалися умови стійкості.

4. Стійке планування експерименту.

Якщо було визначено кілька моделей за одним експериментом, то моделі будуть різними, а отже, план повинен бути стійким до структури.

План повинен бути міцним, сильним стосовно структури математичної моделі. Повний факторний експеримент буде стійкою математичною моделлю. Якщо експеримент буде бага-

тофакторний регулярний, то проведення повного факторного експерименту можливо.

Визначають найкращий план – це буде або схема регулярного факторного експерименту, або повний факторний експеримент.

5. Стійке оцінювання коефіцієнтів математичної моделі.

## **5. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ЗГЛАДЖУВАННЯ**

### **5.1. Основні поняття та визначення**

Розглянемо оптимізацію за наявною математичною моделлю. Складність тут полягає у тому, що у більшості випадків таких моделей немає. Таким чином, виникли пошукові моделі оптимізації. Вони не припускають у загальному випадку одержання математичної моделі. Вони мають допоміжний характер.

Відомо кілька десятків найпоширеніших методів оптимізації, що поділяються на два класи:

1 Регулярні (детерміновані) методи пошуку, у яких не використовується категорія випадковості.

2 Випадкові методи пошуку (наприклад, випадковий пошук накидного типу).

Попередником методу випадкового пошуку є метод проб і помилок, наприклад, метод Монте-Карло (метод статистичних випробувань).

Найкращим розробником методу випадкового пошуку був професор Л. А. Расстригін, що запропонував кілька десятків підходів.

## 5.2. Алгоритм оптимізації складних систем методом випадкового пошуку. Використання ЛП<sub>т</sub> рівномірно розподілених послідовностей (РПП)

Будемо вважати, що як РПП використовують ЛП<sub>т</sub> послідовності. Їх розробив і досліджував доктор фізико-математичних наук Соболев із Москви.

Ідея методу полягала у такому:

У факторний простір поміщають РПП. Такі послідовності характеризуються максимально можливою рівномірністю. У деяких публікаціях такі точки називаються пробними. Таких точок не повинно бути занадто мало, тому що неможливо буде визначити визначимо екстремум, і не повинно бути занадто багато.

Під координатами кожної пробної точки одержуємо необхідні критерії якості. Далі використовують методи викладені вище.

Розглянемо прикладний алгоритм випадкового пошуку з використанням ЛП<sub>т</sub> РПП.

1. Визначаємо інтервал, у якому змінюються фактори

$$\tilde{x}_{1.\min} < \tilde{x}_1 < \tilde{x}_{1.\max}$$

.....

$$\tilde{x}_{k.\min} < \tilde{x}_k < \tilde{x}_{k.\max}$$

Установка мінімального та максимального значень здійснюється фахівцем розумно.

Для кожного із факторів визначають центр плану експерименту:

$$\tilde{x}_{ГО} = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}, \quad 1 \leq i \leq k.$$

Якщо фактори дискретні або якісні, то для них центр експерименту не визначається.

2. Із використанням алгоритму ЛП<sub>т</sub> РПП генеруємо у рівномірному кубі на відрізку [0,1]. Такі послідовності є псевдовипадковими числами

$$z_{iu} : \quad 1 \leq u < N_{\text{ЛПТ}}.$$

Ці числа у реальності одержуємо за алгоритм, що приймає значення від 8 до 32 чисел. Для обчислень на ЕОМ  $N_{\text{ЛПТ}}$  складає близько від 128 до 512.

3. Здійснюємо обчислення натуральних значень, рівнів, факторів

$$\tilde{x}_{iu} = \tilde{x}_{i\min} + \xi_{iu} (\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min}),$$

де  $\tilde{x}_{iu}$  - натуральне значення і-го фактора в u-му дослідженні матриці плану оптимізації;  $\tilde{x}_{i\min}, \tilde{x}_{i\max}$  - мінімальне та максимальне значення і-го фактора;  $\xi_{iu}$  - значення ЛПТ рівномірно розподіленої послідовності для і-го фактора та u-го дослідження.

ЛПТ рівномірно розподілені послідовності побудовані для k факторів з N досліджень.

Якщо фактор дискретний або якісний, то вибір кожного рівня для фактора подається точками, які потрапили в такі підінтервали:

$$\left( 0, \frac{1}{S_i}; \frac{1}{S_i}, \frac{2}{S_i}; \dots; \frac{S_i - 1}{S_i}, 1 \right),$$

де  $S_i$  – число рівнів для і-го фактора (дискретного або якісного).

Одержуємо наближений рівномірний розподіл дискретних рівнів щодо інших рівнів.

Отримані результати заносимо до робочої матриці, де наводяться тільки натуральні значення рівнів варіювання факторів.

4. За робочою матрицею ЛПТ РРП проводимо  $N_{\text{ЛПТ}}$  досліджень.

Із усіх результатів досліджень вибираємо 1 – 5 найкращих результатів. Якщо є інформація, що екстремум тільки один, то можна вибрати один результат.

Далі проводимо аналіз отриманих результатів і приймаємо рішення про закінчення або продовження оптимізації.

5. Якщо ухвалено рішення продовжувати оптимізацію, то найкращий результат береться як центр нового плану експерименту. Вибирають нові (більш вузькі) інтервали варіювання фа-

кторів і проводять новий (другий) цикл оптимізації, тобто переходять на крок 1.

6. Аналізують результати другої серії оптимізації та роблять висновок про закінчення процедури пошуку (екстремуму).

Цей метод дозволяє знайти глобальний екстремум.

Практика використання ЛПТ рівномірно розподілених послідовностей показала їх високу ефективність порівняно із випадковими числами.

### **Переваги, що забезпечуються методом випадкового пошуку:**

1 Висока ефективність знаходження глобального екстремуму (особливо для випадку поганої обумовленості поверхні відгуку).

Погана обумовленість поверхні відгуку - в одних напрямках функції відгуку змінюються повільніше, а в інших напрямках функції відгуку змінюється швидко.

2 Висока ефективність за економічними витратами.

Метод крутого сходження за поверхнею відгуку вимагає витрати пропорційно  $k+1$ , де  $k$  – кількість факторів, і пропорційно фізичним ресурсам -  $\sqrt{k}$ .

$\sqrt{k}$  буде зростати повільніше, ніж  $k+1$ .

3 Метод випадкового пошуку гранично простий, особливих обчислень тут проводити не потрібно, крім того, як обчислити робочу матрицю плану експерименту.

### **5.3. Приклад проведення оптимізації складної системи методом випадкового пошуку**

Приклади оптимізації складної системи методом випадкового пошуку наведені у джерелах [5, 9]. У джерелі [5] показана оптимізація за моделлю та дослідженням. У джерелі [9] оптимізація скрізь проводилося за моделями.



## 6. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЛАСОМ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ (1+X<sub>1</sub>)·(1+X<sub>2</sub>)·...·(1+X<sub>k</sub>)

### 6.1. Принципи побудови математичних моделей структурної складності. Структурна модель (1+x<sub>1</sub>)·(1+x<sub>2</sub>)·...·(1+x<sub>k</sub>)

Даний клас математичних моделей використовують плани експерименту  $2^k$ ,  $2^{k-p}$ .

Зазначені плани експериментів були першими планами експериментів, які побудувала теорія планування експериментів.

Плани одержали значне поширення та дозволяють одержувати порівняно прості моделі, які відповідають багатьом критеріям якості, сформульованим у теорії планування експерименту.

Експеримент  $2^k/N$  означає, що є  $k$  факторів, кожний з яких змінюється на двох рівнях. Усього проводиться  $N$  експериментів.

Розглянемо графічні подання плану експерименту  $2^{2/4}$  для двох факторів (рис. 5.1).

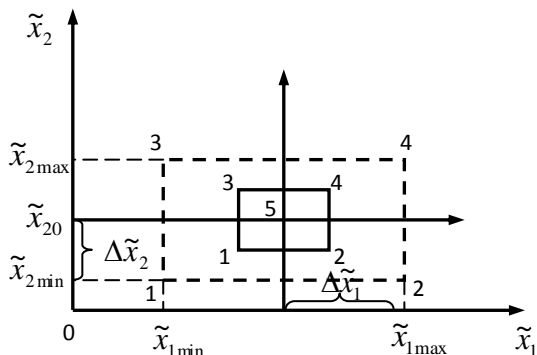


Рисунок 5.1

У теорії планування експерименту прийнято кодувати рівні варіювання факторів.

Для кодування застосовують такі значення:

$$\tilde{x}_{i0} = \frac{\tilde{x}_{i\max} + \tilde{x}_{i\min}}{2} - \text{центральне значення для плану експери-}$$

менту;

$$\Delta\tilde{x}_i = \frac{\tilde{x}_{i\max} - \tilde{x}_{i\min}}{2} \text{ інтервал варіювання за кожним факто-}$$

ром.

**Кодоване значення рівнів варіювання факторів**

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{\Delta\tilde{x}_i}.$$

Кожен фактор змінюється на двох рівнях.

Запишемо матрицю плану експерименту:

№	$x_1$	$x_2$
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
$\Sigma$	0	0

(5.1)

Якщо розглядати в історичному плані, чому це кодування було запропоновано, то спочатку вважали, що так зручно.

-1, 1 – це ортогональні контрасти, вони необхідні, щоб одержати найкращі властивості системи :

- -1 нижній рівень;
- 1 верхній рівень.

Перехід до кодової системи координат означає використання стандартної форми подання вихідних даних.

З матриці (5.1) знаходимо натуральні величини

$$\tilde{x}_i = x_i \cdot \Delta\tilde{x}_i + \tilde{x}_{i0}.$$

Отже, перейшли до нової системи координат, у якій поводження функції буде аналогічне до натуральної величини.

*Основні властивості експерименту  $2^k/N$*

1.  $\sum_{u=1}^N x_{iu} = 0$  – ортогональність відносно  $x_0$ , де

$$1 \leq i \leq k; 1 \leq u \leq N,$$

де  $i$  – поточні значення номера фактора;  $u$  – поточне значення номера досвіду.

$$2. \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} = 0 \quad \text{ортогональність відносно } \mathbf{x}_i;$$

Однією з дуже важливих властивостей є кодування

$$1 \leq i < j \leq u.$$

$$3. \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 = N \quad \text{– властивість нормування.}$$

Кожен елемент у цій матриці дорівнює або +1, або -1, і якщо будь-який елемент піднести до квадрата, завжди буде +1.

Зазначені властивості планів експериментів є важливими для критерію цих планів.

## 6.2. Визначення коефіцієнтів. Аналіз і перевірка моделей на адекватність, інформативність, стійкість та статичну ефективність

Будь-який головний ефект ортогональний будь-якому іншому головному ефекту. Взаємодії факторів також ортогональні будь-яким іншим ефектам.

$$y = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2.$$

Взаємодії факторів в елементі із двома факторами (наприклад,  $x_1, x_2$ ).  $x_0 = 1$  – фіктивний фактор.

З огляду на ортогональні властивості планів експериментів обчислення коефіцієнтів істотно спрощується:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N [x_{iu}]^2},$$

де  $\sum_{u=1}^N [x_{iu}]^2$  – сума квадратів за стовпцем.

$$\bar{y}_u = \frac{\sum_{l=1}^n y_{ul}}{n}, \quad n = n_u = \text{Const},$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} - \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N [x_{iu} \cdot x_{ju}]^2}, \quad 1 \leq i < j \leq k.$$

Вихідні дані  $y_{ul}$  внаслідок того, що результати експериментів містять випадкові похибки, що визначають будь-які коефіцієнти, які є суттю випадкової величини.

Середньоквадратичне відхилення (СКВ) коефіцієнтів визначається в такий спосіб:

$$S_{bi} = S_{bj} = \sqrt{\frac{S_{ou}^2}{N \cdot n}},$$

де  $S_{ou}^2$  - дисперсія відтворюваності результатів експерименту.

$$S_y^2 = \frac{S_{ou}^2}{N},$$

де  $N$  – загальне число різних експериментів.

$n$  - число повторів у кожному рядку,  $n$ , як правило, дорівнює 2.

Після визначення коефіцієнтів та їх СКВ необхідно знайти довірчий інтервал для значень коефіцієнтів  $\Delta P_i = \Delta P_{ij}$

$$\Delta P_i = \Delta P_{ij} = \pm t_{\alpha/2} N(n-1) \cdot S_{i,lj}.$$

Якщо  $\alpha=0.05$ , то критерій вибирається двобічним (рис. 6.1).

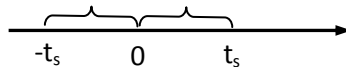


Рисунок 6.1

*Зона невизначеності* – це зона, де коефіцієнт  $\alpha$  не буде відрізнитися від нуля, тому він статистично незначущий. Якщо він більше від цього довірчого інтервалу, то він не враховується.

Число ступенів вільності

$$fs_{bi,bj}^2 = N \cdot (n-1).$$

Чим більше число ступенів вільності, тим більше відома дисперсія.

Між помилками є слабкі кореляції, оскільки не звужуємо довірчий інтервал.

Якщо абсолютні значення:

$$|b_{i,ij}| \leq \Delta b_{i,ij} \quad b_i, b_{ij} \rightarrow b_{i,ij}$$

то такий коефіцієнт статистично незначущий, і ми його не включаємо.

Результати статистичних спостережень повинні бути компактними:

$$|b_{i,ij}| \geq \Delta b_{i,ij}.$$

Тепер необхідно включати коефіцієнт у статистичну математичну модель, тому що він статистично значущий.

Отриману математичну модель перевіряють за різними критеріями якості: адекватність, інформативність, стійкість, фактична ефективність у статистичному змісті.

Під ефективною моделлю розуміємо таку модель, у якій мінімально допустимі довірчі інтервали.

У наших експериментах  $2^k$  ( $2^{k-n}$ ) досягається 100% статистична ефективність.

( $N \cdot n$ ) характеризує витрати фізичних ресурсів. Якщо дисперсія визначається як  $N \cdot n$ , то методами математичної статистики можна довести, що дисперсія не може бути меншою. Це є ефективні випадки. Якщо оцінки неефективні, то вони погані. Необхідно планувати експеримент.

### **6.3. Скорочення необхідних витрат для одержання вихідних даних – експеримент $2^{k-p}$**

При збільшенні числа факторів  $k$  число необхідних експериментів  $N$  швидко зростає.

Припустимо, що є 5 факторів:  $2^5=32$ ,  $32 \cdot 2=64$   $64+6=70$ . Це вимагає занадто багато витрат.

Таким чином, запропонували використати дробовий факторний експеримент

$$2^{k-p} = \frac{2^k}{2^p},$$

де  $p=1$   $\frac{1}{2}$  (Пів репліка);  $p=2$   $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$  (Чверть репліка).

Репліка – частина чогось загального.

Яким чином можна створити  $2^{n-k}$  так, щоб їх властивості були такими гарними, як і експерименту  $2^k$ ?

Уведемо основні визначення для одержання планів  $2^{k-p}$ .

*Генеруюче співвідношення, що генерує* – рівність, що показує, до якого ефекту взаємодії вищого порядку прирівняний новий ефект введеного фактора

$$\frac{2^{k-p}}{2^{3-1} / 4}$$

Таблиця 6.1

№	$x_1$	$x_2$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$
1	-1	-1	1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	1

Для таблиці 6.1 генеруюче співвідношення:

$$x_3 = x_1 \cdot x_2$$

1. Відомо, що взаємодії між  $x_1$  та  $x_2$  немає.
2. Взаємодія є, але статистично не значуща.

Поверхня, що розглядається, буде криволінійною через 2-й порядок між  $x_1$  та  $x_2$ .

Але не можна вважати, що  $x_1$  та  $x_2$  статистично значущі.

**Визначальний контраст** – рівність, що показує при відомості яких стовпців ефектів дає при перемножуванні «+1» або «-1».

Для того щоб одержати визначальний контраст, необхідно ліву та праву частину співвідношення, що генерує, помножити на значення лівої частини генеруючого співвідношення

$$x_3^2 = 1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Якщо б не було значення будь-якого  $x$  при піднесенні до квадрата, ми одержимо 1. Можна домножити на «-1», але це нічого не змінить.

Визначення контрасту використовується для встановлення системи змішування ефектів. Для визначення системи змішування необхідно ліву та праву частину визначального контрасту помножити на ефект, який розглядається.

Необхідно знати, як змішані  $x_2$

$$x_2 = x_1 \cdot x_2^2 \cdot x_3 = x_1 \cdot x_3,$$

$$x_1 \cdot x_2 = x_1^2 \cdot x_2^2 \cdot x_3 = x_3.$$

Якщо у дробовому факторному експерименті замінюють більше однієї взаємодії на нові фактори, то необхідно визначити узагальнюючий визначальний контраст. Він дорівнює кожному з контрастів 1-му, 2-му, 3-му і т.д., а також їх добутку за 2, 3 і т.д. Припустимо, що ввели  $x_3, x_4$ , тоді  $x_1=x_2$  – парні та потрібні взаємодії.

При використанні дробових факторних експериментів  $2^{k-p}$ , необхідно мати достовірну інформацію про те, що взаємодії, які замінюються на нові фактори, статистично незначущі, або теоретично не існують. При вивченні складних систем така інформація не завжди відома. У цьому випадку отримані оцінки коефіцієнтів будуть змішаними, отже, істинні їх значення будуть невідомими. Це типовий випадок некоректно поставленого завдання. Спроба зменшити витрати веде до невизначеності отриманого результату.

Звернемо увагу, що експерименти  $2^{k-p}$  є дробовими факторними експериментами, і при їх використанні можуть виникати некоректно поставлені завдання.

## 7. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЛАСОМ МОДЕЛЕЙ БУДЬ-ЯКОГО ВИСОКОГО ПОРЯДКУ

### 7.1. Основні поняття та визначення.

#### Багатофакторні регулярні плани експерименту

Регулярний - означає правильний.

**Багатофакторні регулярні плани** – плани експерименту, які відповідають умові пропорційності частот рівнів факторів.

Така умова записується у такий спосіб:

$$n_{i,j,\dots,l}^{p,q,\dots,r} = \frac{n_i^p \cdot n_j^q \cdot \dots \cdot n_l^r}{N^{t-1}}.$$

де  $n_{i,j,\dots,l}^{p,q,\dots,r}$  - це число разів спостережуваності рівнів  $p$  фактора  $i$ , рівнів  $q$  фактора  $j$ , ... , рівнів  $r$  фактора  $l$ ;  $n_i^p$  - це число з'явлень  $p$ -го рівня  $i$ -го фактора;  $n_j^q$  - це число з'явлень  $q$ -го рівня  $j$ -го фактора;  $n_l^r$  - це число з'явлень  $r$ -го рівня  $l$ -го фактора;  $N$  – число експериментів;  $T$ - потужність плану експерименту.

$$p = 0,1,2,\dots, S_i - 1;$$

$$q = 0,1,2,\dots, S_j - 1;$$

$$r = 0,1,2,\dots, S_l - 1$$

Для простоти будемо вважати, що існують три фактори  
 $2 \leq t \leq k$ .

Якщо  $t=2$ , то головні ефекти ортогональні один одному.

**Багатофакторні регулярні плани (БРП)**

1. Плани, що відповідають критеріям  $D, Q$  - оптимальні, якщо плани рівномірні.
2. Головні ефекти ортогональні один одному, потужність плану  $t=2$ .
3. Можливе розбивання плану експерименту на ортогональні блоки (частина експерименту), число рівнів може бути довільним залежно від плану.



4. На число рівнів факторів не накладаються обмеження (2, 4, 5, 6, 9 - більше не знадобиться).
5. Фактори можуть бути як якісні, так і кількісні. Якісні, наприклад, найменування матеріалів.
6. Гранична простота обчислень та інтерпретація результатів.
7. Використання БРП і певних правил формування структури моделей (моделі RASTA3) дозволяє одержати стійку структуру та коефіцієнти математичної моделі.

План є несиметричним, якщо кожен фактор плану має однакове число рівнів.

Плани  $2^4//16$ ,  $3^3//9$ ,  $5^{10}//50$  будуть симетричні.

*План називається не симетричним*, якщо фактори мають різне число рівнів.

Плани  $2^1 \times 3^2 // 9$ ,  $2^2 \times 3^1 \times 4^4 // 16$  будуть несиметричними.

*План називається рівномірним*, якщо рівні будь-якого фактора зустрічаються однакове для даного фактора число разів.

Необхідною умовою для рівномірного плану є те, що число досліджень без залишку ділять на число рівнів

$$2^2 \times 4^2 // 16, \quad 2^3 \times 4^3 \times 8^1 // 32.$$

Це не лише необхідна умова, але й недостатня.

*План називається нерівномірним*, якщо рівні факторів зустрічаються неоднаково для даного фактора кількість разів.

Нерівномірні плани  $2^1 \times 3^2 // 9$ ,  $2^3 \times 3^2 \times 4^3 // 32$ , оскільки  $9:2$  - не ділиться без залишку, а  $32$  на  $3$  (фактори  $2$  та  $4$  будуть рівномірними, але  $32$  на  $3$  без залишку не ділиться).

При використанні БРП необхідно наближатися до рівномірних планів, тобто планів, що відповідають D- та Q - оптимальності.

При використанні БРП математичну модель записують із використанням поняття ортогональних контрастів.

Можна показати, що поняття ортогонального контрасту еквівалентне поняттю системи ортогональних поліномів Чебишева.

Контрастом фактора  $x_i$  будемо вважати таке значення  $C_i^{(p)}$ , що є функцією фактора  $x_i$ .

$$C_i^{(p)} = f_i^{(p)}(x_i),$$

яке задовольняє таку умову:

$$\sum_{u=1}^N C_{iu}^{(p)} = 0, \quad \sum_{u=1}^N [C_{iu}^{(p)}]^2 \neq 0, \quad p = 1, 2, \dots, S_i - 1,$$

де  $i$  – ознака фактора;  $u$  – ознака дослідження;  $p$  – відповідний порядок.

**Контраст** – це рівні фактора, сума яких за стовпцем дорівнює нулю.

Максимальний порядок на одиницю менший від числа рівнів.

Контрасти факторів  $x_i, x_j$  будуть ортогональні, якщо скалярний добуток стовпця на стовпець дорівнює нулю:

$$\sum_{u=1}^N C_{iu}^{(p)} C_{ju}^{(q)} = 0, \quad 1 \leq i < j \leq k.$$

Будемо вважати, що число повторюваних досліджень для даного випадку

$$n_u = n = \text{Const.}$$

Якщо  $n_u \neq n$ , то умова тимчасового контрасту записується по іншому:

$$\sum_{u=1}^N n_u \cdot C_{iu}^{(p)} = 0,$$

$$\sum_{u=1}^N n_u \cdot C_{iu}^{(p)} \cdot C_{ju}^{(q)} = 0.$$

Ортогональні контрасти необхідно використовувати для додання математичним моделям та їх коефіцієнтам найкращих статистичних властивостей, а саме властивостей ортогональності.

## 7.2. Багатофакторні регулярні плани експерименту. Принципи побудови математичних моделей

Для багатофакторних регулярних планів експериментів можуть бути запропоновані різні типи моделей. З огляду на те, що у плані експерименту можуть використовуватися як кількісні, так і якісні фактори і плани експериментів відповідають критерію ортогональності для всіх головних ефектів, фактори змінюються на декількох рівнях, доцільно факторну модель постулювати у вигляді системи ортогональних поліномів Чебишева:

$$\begin{aligned} \mathfrak{F} = & b_0 + b_1^{(1)} f_1^{(1)}(X_1) + \dots + b_1^{(s_1-1)} \cdot f_1^{(s_1-1)}(X_1) + \\ & + b_k^{(1)}(X_k) + \dots + b_k^{(s_k-1)} f_k^{(s_k-1)}(X_k) + \Pi, \end{aligned}$$

де  $X$  – натуральні значення;  $x$  – символ ортогонального контрасту;  $b_1^{(1)} f_1^{(1)}(X_1)$  – це поліноми 1-го порядку для першого фактора;  $b_k^{(1)} f_k^{(1)}(X_k)$  – це поліноми першого порядку для  $k$ -го фактора.

$\Pi$  – умовна позначка для членів моделі із добутками вище – наведених функцій за двома функціями, за трьома функціями і т.д. для різних факторів, тобто  $i \neq j$ .

Члени моделі  $\Pi$  є взаємодіями факторів.

Зазначена математична модель використовує поняття контрастів головних ефектів і взаємодій головних ефектів. Для того, щоб знайти (визначити) формули для обчислення ортогональних контрастів, запишемо ортогональні контрасти у загальному вигляді:

$$\sum_{u=1}^N x_{iu}^{(p)} = \sum_{u=1}^N f_i^{(p)}(X_i) = 0,$$

де  $X$  – натуральні значення того фактора, який задається у предметній області (гр, мм, см і т.д.).

Для двох ефектів:

$$\sum_{u=1}^N x_{iu}^{(p)} \cdot x_{ju}^{(p')} = \sum_{u=1}^N f_i^{(p)}(X_{iu}) \cdot f_j^{(p')}(X_{ju}) = 0.$$

За умови, що їх скалярний добуток стовпця на стовпець дорівнює нулю

$$1 \leq p \leq (S_i - 1),$$

$$1 \leq p' \leq (S_j - 1).$$

Необхідно одержати такі стовпці значень, які були б ортогональні один до одного.

Необхідно, щоб ортогональні контрасти були нормовані, це означає:

$$\sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)} \cdot k_i^{(p)}]^2 = N.$$

Спочатку отримані значення ортогонального контрасту не нормовані.

З даного виразу невідомий тільки коефіцієнт нормування, тому він дорівнює:

$$k_i^{(p)} = \sqrt{N / \sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)}]^2}.$$

де  $N$  – число рядків матриці плану експерименту, що завжди відомо:

$$\sum_{u=1}^N x_0^2 \equiv N,$$

де  $x_0=1$ .

Запишемо лінійні квадратичні та кубічні ортогональні контрасти як функції від рівнів варіювання факторів.

*Лінійний ортогональний контраст:*

$$x_{iu}^{(1)} = x_{iu} = a_{11i} (X_{iu} + a_{10i})$$

*Квадратичний ортогональний контраст другого порядку:*

$$x_{iu}^{(2)} = z_{iu} = a_{22i} (x_{iu}^2 + a_{21i} x_{iu} + a_{20i})$$

Квадратичний контраст є функцією від лінійного контрасту. При більш глибокому аналізі, крім квадрата, наявні й лінійна частина, і вільний коефіцієнт.

Впливає, що ортогонально представити неможливо, поки не представимо сумою лінійної частини та вільним коефіцієнтом.

*Кубічний ортогональний контраст:*

$$x_{iu}^{(3)} = q_{iu} = a_{33i} (x_{iu}^3 + a_{32i} x_{iu}^2 + a_{31i} x_{iu} + a_{30i}),$$

де  $a_{3i}$ : 3 – ступінь контрасту, 1 – ступінь ікса;  $a_{33}, a_{22}, a_{11}$  - коефіцієнти, які при множенні будуть мати вищий ступінь.

*Значення коефіцієнтів*

Коефіцієнти  $a_{10i}, a_{21i}, a_{20i}, \dots, a_{30i}$  знаходять, розв'язуючи відповідні системи рівнянь.

*Коефіцієнти*

$$a_{11i}, a_{22i}, a_{33i} = k_i^{(p)}.$$

Коефіцієнти для лінійного контрасту можна визначити з огляду на зазначені умови для контрасту фактора та виразу лінійного контрасту:

$$a_{10i} : \sum_{u=1}^N x_{iu} = \sum_{u=1}^N (X_{iu} + a_{10i}),$$

де  $1$  – контраст;  $0$  – вільний коефіцієнт;  $i$  – контраст.

*Формула для невідомого коефіцієнта*

$$\sum_{u=1}^N X_{iu} = a_{i0} \cdot N = 0; \quad a_{10i} = -\sum_{u=1}^N \frac{X_{iu}}{N}.$$

Сума квадратів відхилення від постійного значення буде мінімально можливою.

Лінійний і квадратичний контрасти повинні задовольняти досліджувані умови

$$\sum_{u=1}^N z_{iu} = \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 + a_{21i} \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} + a_{20i} \cdot N = 0,$$

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} = 0.$$

*Властивості*

$$\sum_{u=1}^N z_{iu} \cdot x_{iu} = \sum_{u=1}^N x_{iu}^3 + a_{21i} \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 + a_{20i} \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} = 0,$$

$$a_{20i} = -\sum_{u=1}^N \frac{x_{iu}^2}{N},$$

$$a_{21i} = -\sum_{u=1}^N \frac{x_{iu}^3}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}.$$

Для контрастів факторів, що змінюються в експерименті на 4 рівнях, можна записати такі рівняння:

$$1. \quad \sum_{u=1}^N g_{iu} \cdot z_{iu} = \sum_{u=1}^N x_{iu}^3 \cdot z_{iu} + a_{32i} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 z_{iu} +$$

$$+ a_{31i} \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot z_{iu} + a_{30i} \sum_{u=1}^N z_{iu} = 0;$$

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot z_{iu} = 0; \quad \sum_{u=1}^N z_{iu} = 0.$$

$$2. \quad \sum_{u=1}^N g_{iu} = \sum_{u=1}^N x_{iu}^3 + a_{32i} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 + a_{31i} \sum_{u=1}^N x_{iu} + a_{30i} \cdot N = 0;$$

$$\sum_{u=1}^N x_{iu} = 0.$$

$$3. \quad \sum_{u=1}^N g_{iu} \cdot x_{iu} = \sum_{u=1}^N x_{iu}^4 + a_{32i} \sum_{u=1}^N x_{iu}^3 + a_{31i} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 + a_{30i} \sum_{u=1}^N x_{iu} = 0.$$

Сума за стовпцем дорівнює нулю, сума скалярного добутку стовпця на стовпець теж дорівнює нулю.

Із умов, що накладаються на контрасти та ортогональні контрасти.

З першого рівняння системи можна знайти

$$a_{32i} = -\sum_{u=1}^N x_{iu}^3 \cdot z_{iu} / \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot z_{iu},$$

де  $z_{iu}$  і  $x_{iu}$  - відомі.

Із другого рівняння

$$a_{30i} = - \left( \sum_{u=1}^N x_{iu}^3 + a_{32i} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \right) / N;$$

$$a_{31i} = - \left( \sum_{u=1}^N x_{iu}^4 + a_{32i} \sum_{u=1}^N x_{iu}^3 \right) / \sum_{u=1}^N x_{iu}^2.$$

Аналогічним чином можна знайти й інші необхідні коефіцієнти  $a(\cdot)$  для ортогональних контрастів більш високих порядків, якщо будуть фактори на 5-му, 6-му, ... і т.д. рівнях.

Для того щоб ортогонально представити ефекти, потрібно брати натуральні функції.

### 7.3. Визначення коефіцієнтів, аналіз і перевірка математичних моделей

Будемо припускати, що головні ефекти та деякі взаємодії ортогональні один одному.

Будемо також припускати, що використовується багатofакторний, регулярний план експерименту.

У матричному вигляді коефіцієнти математичної моделі можна обчислити за такою формулою:

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T Y,$$

де  $B$  – матриця-стовпець коефіцієнтів;  $X$  - розширена матриця ефектів;  $Y$  - середнє арифметичне значення;  $T$  - позначка транспонування;  $-1$  – знак зворотної матриці.

Різні дослідники по-різному виділяють структуру математичної моделі. Одні з них говорять, що вони застосовують якусь гіпотезу, а інші – що несправедливо використовувати гіпотезу та необхідно приймати інші методи.

Структура математичної моделі дослідника невідома.

Якщо припустити, що розширена матриця іксів містить тільки ортогональні стовпці, то матриця дисперсії-коваріації буде мати такий вигляд:

$$(X^T X)^{-1} = \begin{vmatrix} D(x_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & D(x_2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & D(x_{k'}) \end{vmatrix}.$$

Дисперсія по головній діагоналі матриці, де  $k'$  – загальне число стовпців головних ефектів і взаємодій у розширеній матриці.

Якщо планується експеримент, вони повинні бути ортогональними, а якщо не планується, – то не ортогональними.

Для того щоб одержати гарний результат, необхідно планувати експеримент і використовувати багато факторів.

Якщо матриця має зазначений вигляд, то формули для обчислення коефіцієнтів будуть такими:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu}^{(p)} \cdot \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)}]^2}, \quad \sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)}]^2 = N.$$

Сума квадратів за стовпцем повинна дорівнювати  $N$ .

*Для взаємодії ефектів:*

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^{(p)} \cdot x_{ju}^{(p)} \cdot \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)} \cdot x_{ju}^{(p)}]^2}, \quad 1 \leq i < j \leq k.$$

$$\sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)} \cdot x_{ju}^{(p)}]^2 = N \text{ – за умови нормування.}$$

Обумовлені коефіцієнти є випадковими величинами, їх середньоквадратичні помилки

$$S_{bi} = S_{bij} = \sqrt{\frac{S_{ou}^2}{\sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)}]^2 \cdot n}},$$



де  $S_{ош}^2$  - дисперсія відтворюваності дослідження;  $n$  - число повторних досліджень у кожному рядку результатів спостережень.

Припускаємо, що  $n_u = n = Const$ .

Не потрібно прагнути, щоб у кожному рядку не було повторних досліджень.

*Число ступенів вільності:*

$$f_{S^2} = N \cdot (n - 1),$$

де  $n-1$  - для того, щоб обчислити порядкову дисперсію, потрібно обчислити середнє значення, а потім суму коефіцієнтів відхилення.

Величина довірчого інтервалу розраховується за такою формулою:

$$\Delta b_i(b_{ij}) = \pm t_{\alpha/2, f_{\text{востр}}} S_{\text{востр}} / \sqrt{\sum_{u=1}^N [x_{iu}^{(p)}]^2 \cdot n}.$$

Число повторних досліджень повинне бути однаковим.

$\alpha$  - імовірність відхилити нульову гіпотезу, якщо вона правильна; рівень значущості. Як правило,  $\alpha = 0.05$ , у жорстких умовах  $\alpha = 0.01$ . Сума квадратів за стовпцем повинна бути нормована та порівнювати  $N$ .

Якщо абсолютна величина  $|b_i| \leq \Delta b_{i,ij}$ , то такий коефіцієнт статистично незначущий і його у математичну модель не вводимо, тому що він є більш слабким.

Якщо  $|b_i| > \Delta b_{i,ij}$ , то коефіцієнт статистично значущий, і він вводиться у математичну модель.

Відзначимо, що СКВ:

$$S_{b, b_{ij}} = S_{\text{востр}} / \sqrt{\sum [x_{iu}^{(p)}] \cdot n},$$

де  $n$  - число повторних досліджень у кожному рядку, бажано, щоб воно було однаковим.

Варто пам'ятати, що чим менший довірчий інтервал, тим більше інформації маємо. У цьому випадку досягаємо статистичної ефективності 100%. Строго можна показати, що у цьому випадку СКВ не може бути меншим, ніж записано, і тут досягається статистична ефективність 100%.

Нагадаємо ще раз, що всі ефекти ортогональні! У теоретичній математичній статистиці треба прагнути до цієї ситуації, тобто не повинно бути кореляції.

Щоб ефективність була 100%, необхідно планувати експеримент! А методи планування експерименту дозволяють досягти 100% ефективності або хоча б 80 %.

При використанні дробового факторного експерименту у загальному випадку спостерігається корельованість ефектів один до одного, тобто можемо одержати діагональну матрицю дисперсій коваріації. Тому застосовувати наведені вище формули для коефіцієнтів та їх СКВ не можна. Необхідно використати алгоритм RASTA3 і програмні засоби «PIAM», а також формалізовану структуру шуканої статистичної моделі для проведення обчислень шуканої статистичної моделі.

Необхідна інформація для проведення обчислень та аналізу отриманих результатів наведена у відповідній літературі.

#### **7.4. Вибір оптимальних початкових умов для одержання моделі високого порядку**

Для одержання моделі будь-якого високого порядку необхідно використовувати багатофакторні регулярні плани, а також плани на основі ЛТ<sub>τ</sub> РРП. Число необхідних досліджень для дробового факторного експерименту повинно бути не менше

$$N_D \cong 1,5 \dots 2 \sum_{i=1}^k (S_i - 1).$$

Коефіцієнт 1,5 береться, якщо число цих досліджень порівняно великого порядку: 50...60. Коефіцієнт 2 береться, якщо число досліджень порядку 16-27. Він об'єктивно відбиває ситуацію у тому випадку, якщо число досліджень не мале, тому що корельованість ефектів буде велика при малому числі досліджень (ефекти взаємодії). При 1,5...2 потрібно враховувати взаємодії.

Ефекти взаємодії враховують властивості емергентності.

Емергентність – виникнення чогось нового у кожного із взаємодіючих частин цього експерименту. Тому на взаємодії

треба ставити ступінь вільності. Для того щоб отримані моделі були гарними, властивості експерименту треба планувати (конструювати).

### **7.5. Приклади математичного моделювання систем і процесів моделями високого порядку**

Приклади математичного моделювання складних систем:

1. Математичне моделювання пружних деформацій технологічної системи.

При обробці деталей виникають сили різання, і обробка деформується. У цьому випадку плани другого порядку не дали необхідної точності. А при використанні схеми повного факторного експерименту були отримані гарні результати.

2. Математичне моделювання та оптимізація конструкцій і технології виготовлення спіральних монолітних твердотільних свердел.

Кожна друкована плата має багато отворів. Верстати із числовим програмним виготовленням. Тут група свердел за кілька етапів робить необхідну кількість отворів у текстоліті, оскільки отвори розміщені близько одне до одного, то за один раз їх просвердлити неможливо. Тому виникла проблема стійкості цих свердел. У цьому експерименті було 20 факторів, було зроблено 64 дослідження, головних ефектів було 27. Для більшої ефективності свердла покривали лаком, яким була покрита плата.

3. Математичне моделювання та оптимізація технологічних умов зварювання поліетиленових труб за системним критерієм якості.

Дане завдання полягало у тому, щоб розглянути вплив чотирьох факторів і розглянути зварювання з погляду впливу 6 факторів. У підсумку був досягнутий економічний ефект. Труби, що використовувалися для хімічної промисловості, були металеві та швидко псувалися (корозія). Їх потрібно було замінити після 1.5-3 місяців. Тому було ухвалене рішення замінити їх на пластмасові, які експлуатувалися довше й були дешевшими. Але

потрібно було їх замінити відповідним чином. Їх термін служби зріс до 30 років.

Ще металевим трубам були властиві «блукаючі струми». Труба під їх дією розкладалася, і виникали дірки. У сталевих трубах для електростанцій були анодні струми, які необхідно було усунути.

4. Математичне моделювання шестикомпромісних тензометричних вимірювальних систем.

Тензометр – дослідницький елемент, що наклеюється на металеву частину та разом із деформацією теж розтягується та подає інформацію про цю деформацію.

Тіло у вільному просторі має три сили уздовж трьох осей у прямокутній системі координат і три крупні моменти навколо кожної із цих осей. Таким чином, потрібно визначити шість векторів, а у вільному просторі це можна зробити тільки для трьох векторів.

У 1979-1980 рр. від КПІ було запропоновано, що похибки потрібно розглядати за всіма шістьма каналами, але ми не будемо розуміти, що відбувається у самій системі. Для того щоб зрозуміти, що відбувається усередині системи можна розв'язати цю систему та вичленувати кожний із компонентів окремо. Ми можемо виключити змінні системні похибки, якщо будемо підходити системно.

5. Багатофакторне математичне моделювання високовольної термонапруженої ізоляції термоапаратів.

Високовольтна апаратура, що використовується на бортах космічних апаратів (50-70кВт), нагрівається до 60-70<sup>0</sup>С у процесі роботи. Проблема полягає у твердих габаритах і масі. Повинна бути менша товщина ізоляції, а при зменшенні товщини ізоляції збільшується ймовірність ураження екіпажу в космосі. Треба було провести дослідження для такої проводки ізолятора, щоб при 60-70<sup>0</sup>С проводка не вразила струмом.

У дослідженні було задіяно 4 фізичних фактори, 9 простих факторів. Був проведений експеримент 3<sup>4</sup>//27. Завдання було успішно вирішене.

## 8. МЕТОДИ АКТИВІЗАЦІЇ ТВОРЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВИНАХІДНИКА

### 8.1. Алгоритм і теорія вирішення винахідницьких завдань

Ще у древній Греції вчені намагалися розробити методи, способи, теорію вирішення творчих завдань. Під творчими завданнями мають на увазі рішення, отримані винахідниками. Це бере свій початок із середніх століть.

Проблема активізації творчої діяльності винахідника стала особливо важливою після Другої світової війни, оскільки всі вчені у той період працювали на воєнну промисловість, то виникла проблема відновлення винаходів. Метод проб і помилок був не надійними та вимагав значних витрат. Але іноді такий метод давав позитивні результати вирішення завдань. Якщо результат добрий, то змінюється принцип. Актуальною стала проблема методології, методів творчої діяльності, як вчених, так і винахідників. У Радянському Союзі із 1956 цей процес почався з робіт Генріха Альшулера. Будучи молодим інженером, він зайнявся центральною проблемою, що полягала у тому, яким чином можна знаходити систематичні рішення, які вважаються повністю творчими.

Зараз існують розроблені дуже сильні методи й алгоритми вирішення таких творчих завдань.

*Алгоритм вирішення винахідницьких завдань – 85В*

Цей алгоритм був запропонований Альшулером Г. С. Цифра означає рік, а літера модифікацію.

#### ***Частина 1. Аналіз завдань***

Основна мета – це перехід від розпливчатої винахідницької ситуації до чітко побудованої й гранично простої схеми - моделі завдання.

У рамках першої частини виконують такі завдання:

1. Записати умову без використання спеціальних термінів.

Тут необхідні певні судження, певні поняття, які обмежують творчу думку, тобто це старі думки.

2. Зазначити технічні протиріччя.

Тут основним завданням є пошук протиріч, які необхідно перебороти.

3. Виявити об'єкт та інструмент.

Об'єктивно визначаємо, що необхідно змінювати, варто пам'ятати, що легше змінити інструмент.

4. Загострити технічне протиріччя.

Потрібно підсилити протиріччя та зрозуміти, що рішення у старих варіантах не можливе.

5. Записати формулювання моделі завдання, коротко, чітко без спеціальних термінів.

### ***Частина 2. Модель завдання***

Необхідно переглянути евристику на самому початку нашого курсу. Треба нагадати, що евристика - рекомендації вирішення творчих завдань. Мета полягає в урахуванні наявних ресурсів, які можна використовувати при вирішенні завдань, ресурсів простору часу, речовин і полів.

Поля бувають електричного, магнітного, електромагнітного тяжіння, іноді ті впливи, які нетрадиційно можна вважати полями (акустичне, теплове) – гравітаційні.

Зміст полягає у тому, щоб виявити, чим характеризується завдання з погляду фізики:

- визначити оперативну зону (ОЗ)
- визначити оперативний час (ОВ)
- визначити матеріально-польові ресурси (МПР)  
Дійсне у тому розумінні, що поле - це інструмент впливу на речовину.
- МПР можуть бути внутрішні, зовнішні, надсистеми

*Частина 3. Визначення ідеального кінцевого рішення та фізичного протиріччя*

Необхідно сформувати образ ідеального кінцевого рішення (ІКР) та фізичні протиріччя (ФП), які заважають досягненню

ІКР. Не завжди можна досягти ідеального рішення, однак ІКР вказує напрямок для пошуку найбільш правильної відповіді:

- записати формулювання ІКР-1;
- записати формулювання ФП на макрорівні (макрорівень - це розгляд усього об'єкта);
- записати формулювання ФП на мікрорівні (малі обсяги, малі відстані);
- скласти формулювання ІКР-2 і записати його.

#### ***Частина 4. Мобілізація та застосування матеріально-польових ресурсів***

Раніше були визначені наявні ВПР, які можна використовувати безкоштовно. Безкоштовними є, наприклад, ресурси з навколишнього середовища (вода, нафта, сонячна енергія).

Необхідно планомірно збільшувати ресурс, робити ВПР, які виходять майже безкоштовно шляхом мінімальних вимірів наявних ВПР.

Дії за частиною 3 ґрунтуються на використанні фізичної інформації про ВПР і продовжуються у частині 4:

- конкретно аналізують ВПР і формують необхідні дії.
- за необхідності намагаються використати моделювання «маленькими чоловічками» (ММЧ): виділяють конфліктуючі вимоги, роблять їх схему (малюнок), використовують ММЧ для їх рішення. Під ММЧ мають на увазі деякі істоти, необов'язково схожі на людину, які можуть вирішувати завдання, якщо вони випробовують вплив її на собі. Це застосовується для активізації творчого мислення.
- записують отримане рішення щодо використання ВПР. Рішення необхідно писати коротко. Рішення тим ідеальніше, чим менше витрат ВПР.

#### ***Частина 5. Застосування інформаційного фонду в теорії рішення (ТРІЗ)***

Якщо у частині 4 рішення отримане, то переходять до частини 7, тобто майже у кінець. Якщо рішення не отримане, то використовують дослідження рішення для винахідницьких завдань, сконцентрованих в інформаційному ТРІЗ.

- При значному різноманітті винахідницьких завдань число фізичних протиріч цих завдань порівняно невелике: за Альшулером Г. С. – до 40, за Половинкиним А. І. – до декількох сотень.
- Аналізують рекомендації з інформаційного фонду та вибирають метод (спосіб) подолання протиріччя.

### ***Частина 6. Зміна та / або заміна завдань***

Розв'язання простих завдань у більшості випадків досягається подоланням фізичних протиріч. Розв'язання складних завдань звичайно пов'язане зі зміною змісту завдань, інакшої мети, поставленої раніше.

- Якщо завдання вирішене, потрібно перейти до технічної відповіді. Тут під розв'язанням завдання мається на увазі ідея, а технічна відповідь - це конструкція.
- Якщо відповіді не одержано, то варто змінити завдання, вибрати за частиною 1 інше технічне протиріччя.
- Якщо відповідь не отримана, то перейти до частини 1 і заново сформулювати завдання, відносячи його до надсистеми (зверху - надсистема, знизу - підсистема).

### ***Частина 7. Аналіз способу усунення ФП***

Перевіряється якість отриманої відповіді. ФП повинне бути усунуте ідеально, «без нічого» (ресурси, взяті із зовнішнього середовища, легко доступні).

Необхідно досягти найкращого розв'язання:

- провести контроль відповіді;
- провести попередню оцінку отриманого розв'язання;
- перевірити за патентними даними формальну новизну отриманого розв'язку;
- записати можливі підзадачі (винахідницькі, конструкторські, розрахункові, організаційні), які виникають при технічному розробленні отриманої ідеї; сама ідея може бути записана декількома фразами, але потрібні відповідна документація, узгодження.



### ***Частина 8. Застосування отриманої відповіді***

Якщо знайдена гарна ідея (розв'язання) дозволяє вирішити ті та інші аналогічні завдання, то визначають як повинна бути змінена надсистема:

- чи можуть зміни (або надсистема) застосовуватися по новому;
- використовувати отримані розв'язки в інших технічних завданнях (утилізація рішення, тиражування, використання у різних галузях).

### ***Частина 9. Аналіз порядку розв'язання***

Проаналізувати порядок розв'язання завдання:

- порівняти реальний порядок розв'язання даного завдання із теоретичним за АРІЗ для самовдосконалення методології;
- порівняти отриману відповідь із даними інформаційного фонду ТРІЗ - стандарти, прийоми, фізичні ефекти.

Якщо розв'язання нове (піонерське, перше), записати його. АРІЗ постійно вдосконалюється.

## **8.2. Морфологічний аналіз та послідовність його проведення**

Морфологічний аналіз був розроблений у 1942 р. Фріцем Цвікі. Під час Другої світової війни багато вчених емігрували із Європи у США. Фрідріха Цвікі теж не минула така доля. Він займався дослідженням літальних апаратів, хотів створити ракети та дав їх технічні характеристики. Він вирішив це завдання не як конструктор, а ідейно. До війни він займався астрономією та розробив свою систему, що використав у галузі ракетобудування.

Морфологічний аналіз передбачає виконання пошуку рішення в 5 етапів, це алгоритм морфологічного аналізу.

1. Точне формулювання завдання (проблеми), що підлягає розв'язанню.

2. Складання списку всіх морфологічних ознак, тобто всіх важливих характеристик об'єкта, його параметрів, від яких за-

лежить розв'язання проблеми та досягнення основної мети. Морфологічні ознаки – основні «частини» системи об'єкта. Можна розуміти, що це вузли підсистеми. Їх можна трактувати як першопричини, як фактори.

3. Розкриття можливих варіантів за кожною морфологічною ознакою (характеристикою) шляхом формулювання їх можливих варіантів. Складання матриці ознак і варіантів. Варіанти можна розглядати як рівні факторів.

Число варіантів морфологічного аналізу:

$$N_{MA} = K_1 \cdot K_2 \dots K_n;$$

$$N_{MA} = \prod_{i=1}^n K_i,$$

де  $1, 2, \dots, n$  – морфологічні ознаки, фактори;  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – різні варіанти (рівні) морфологічних ознак (факторів);  $N_{MA}$  – загальне можливе число варіантів системи об'єкта.

Кожна система складається із частин - підсистем, а кожна підсистема, у свою чергу, – із частин.

4. Визначення функціональної цінності отриманих варіантів розв'язання.

Кінцева мета – це вибрати якийсь новий варіант. Тут можемо використати компроміс Парето, характеризуючи розв'язання декількома критеріями якості.

Одним із можливих методів пошуку найкращих розв'язків може бути використання вибірки з повного факторного експерименту, тобто із варіантів  $N_{MA}$ . Вибірка є як багатофакторним регулярним планом експерименту.

Можливі поєднання рівнів фактора оцінюють у вигляді експортних оцінок. Щоб експортні оцінки були ефективні, необхідно розробити нумерацію. Від великої кількості експертів і старанності усереднення можна одержати оцінку в балах. Це схема дробового факторного експерименту.

Одержавши експертні оцінки розглянутого варіанта, використовують множинний регресійний аналіз для одержання багатофакторної математичної моделі. За моделлю оцінюють мож-

ливі найкращі розв'язки, а також внесок морфологічних ознак, а різних варіантів морфологічних ознак.

5. Вибір найбільш раціональних конкретних розв'язків.

Вибір здійснюють або за моделлю, або за методом парних порівнянь. Тут виходять із таких міркувань. Людина легше вибирає правильний варіант, якщо як порівняння беруться два варіанти. Потім беруть кращий і ще один і так само попарно вибирають методом попарних порівнянь.

Розробником методу морфологічного аналізу є доктор технічних наук, професор Кузнецов Ю. Н., іншим великим розробником є кандидат технічних наук Одрін В. М.

Морфологічний аналіз одержав порівняно значне поширення, його можна застосовувати як необхідний науковий та евристичний апарат для формування (компонування) різних окремих підсистем, окремих систем.

### **8.3. Функціонально-кошторисний аналіз. Послідовність проведення**

Функціонально-кошторисний аналіз (ФКА) іноді називають системний аналіз, але це не зовсім правильно. Його необхідно розглядати у заголовку, тому що розглядаються функціональність і вартість.

ФКА був розроблений у Радянському Союзі інженером Соболевим, що працював на Пермському телефонному заводі у 1950 р. Незалежно від нього ФКА ще запропонував американський інженер Майлз на фірмі Дженерал Електрик.

Необхідно чітко визначити, які функції необхідні, які головні, а які другорядні. Головним потрібно приділяти всю увагу, а від шкідливих функцій потрібно позбутися. На другорядні функції потрібно витратити час, але дивитися, як його раціонально витратити. На перших етапах розроблення бажано застосовувати ФКА.

Майлз прийшов до цього у такий спосіб. Під час війни країни зазнавали труднощів доставки сировини, перед ними стояло завдання заміни однієї сировини на іншу. Виникла проблема, що

полягала у тому, що втрачається при заміні. Поставимо таке запитання: «як можна розумно замінити одні марки матеріалу на інші, підвищуючи їх ефективність та у той самий час знижуючи їх вартість не знижуючи функціональних можливостей».

ФКА одержав значне поширення практично в усьому світі.

Дослідження з ФКА показали, що близько 75% витрат на виробництво виробу закладається на етапі наукових досліджень та проектно-конструкторських розробок. Необхідно виключити зайві витрати та істотну частину грошей витратити на необхідні функціональні властивості.

ФКА необхідно проводити за такими етапами:

1 Підготовчий етап:

- навчання фахівців основ ФКА;
- вибір об'єкта дослідження;
- визначення мети та аналізу;
- підготовка переліку необхідних інформаційних матеріалів про об'єкт, що аналізується;
- підбір та твердження складу дослідницької групи;
- складання та твердження плану конкретного об'єкта.

2 Інформаційний етап:

- збір інформації із досліджуваного об'єкта;
- систематизація інформації, необхідної для опису об'єктів (конструкції, технології, якість із погляду заводу і якість із погляду споживача, рекламація);
- виявлення та формулювання функцій виробу;
- визначення витрат на створення та функціонування об'єкта і його складових частин;
- виявлення зон найбільшого зосередження витрат у досліджуваному об'єкті.

Необхідно виявити, які відсотки коштів йдуть на основне забезпечення із головної вартості, які функції є головними поглиначами грошей (60-70%). Тут варто розібратися, на що грошей іде більше і чи є ці функції головними.

3. Аналітичний етап:

- аналіз та уточнення функцій;

- визначення основних, допоміжних функцій;
- виявлення непотрібних функцій;
- розмежування та аналіз витрат, пов'язаних зі здійсненням функцій;
- порівняння функцій та витрат на їх здійснення із аналогічними функціями та витратами
- порівняння функцій і витрат аналогічних, тобто схожих систем і розв'язань;
- уточнення пошуку резерву економії в об'єкті, що аналізується, за функціональними зонами;
- формування завдань для пошуку нових ідей та варіантів оптимальних розв'язків.

#### 4. Творчий етап:

- уточнення напрямку та завдань пошуку нових розв'язків;
- вибір методів колективної творчості для реалізації цих завдань;
- визначення тематики планування проведення творчих нарад;
- організація та проведення наради за висуванням ідей;
- підготовка матеріалів для оцінки отриманих результатів функціональними службами.

#### 5. Дослідницький етап:

- систематизація прикладених варіантів нових рішень;
- виключення нездійснених (розуміються організаційні, фінансові) пропозицій, експертиза тих, що залишилися;
- дослідження та за необхідності експериментальна перевірка різних можливостей виконання функцій у запропонованих варіантах;
- оцінка здійсненності пропозицій, що залишилися;
- визначення витрат та економічності виконання функцій для різних варіантів розв'язань;
- ранжирування варіантів та вибір оптимального.

На цьому етапі в остаточному вигляді приймається рішення, бажано, щоб було 2-3 кращих рішення.

#### 6. Рекомендаційний етап%

- оформлення за реалізацією пропозицій із розрахунком економічної ефективності (вигода у грошах, але необхідно враховувати надійність, товарний вигляд, техніку безпеки, охорону праці, ремонтоспроможність, дефіцит);
- узгодження рекомендацій із зацікавленими фірмами, організаціями (служба головного конструктора, технолога, відділ збуту, відділ якості, відділ комплектації);
- обговорення представлених рекомендацій і прийняття рішень;
- складання проекту та затвердження плану графіка впровадження, передача рекомендацій відповідним службам.

#### 7. Етап впровадження

- узгодження плану – графіка впровадження, рекомендації ФКА;
- організація роботи із реалізації рекомендації;
- контроль за виконанням плану, графіка;
- впровадження отриманих результатів у виробництво;
- заохочення учасників розроблення та впровадження рекомендації;
- оцінка отриманих результатів;
- оформлення звіту про виконану роботу.

Звіт необхідний для того, щоб у випадку виникнення проблем повернутися та розібратися у джерелі та щоб був приклад для майбутніх розробників.

Зараз відбувається тенденція виникнення нової технічної бази, що є новою підставою для розробників.

Прикладом багатофункціональної системи є факс.

При реалізації нового товару необхідно залучати споживача.

## 9. ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРЕДАЧА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 9.1. Основні вимоги до оформлення результатів наукового дослідження

Існують певні правила проведення, оформлення наукових досліджень для того, щоб вони були поширені на інші об'єкти.

Усі роботи, пов'язані із оформленням науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, необхідно виконувати відповідно до ДСТУ 3008-95 «Державний стандарт України. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення» - К.: Держстандарт України.

Державний стандарт України «Державний стандарт України. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення» гармонізований із міжнародним стандартом ISO-5966: 1982м «Документація - подання наукових і технічних доповідей».

Раніше, у СРСР, вимоги до науково-дослідних звітів були регламентовані документом ДСТУ 7.32-91.

Щоб звіт був гарним, необхідний досвід проведення таких робіт. Варто викласти досить коротко, але в той самий час повністю розкрити головні питання.

Викладемо вимоги до порядку викладення матеріалів до пояснювальної записки:

- вступна частина;
- основна частина;
- доповнення.

Вступна частина містить такі структурні елементи:

- титульний аркуш;
- завдання до роботи;
- реферат;
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.

Основна частина містить:

- вступ;
- суть пояснювальної записки;
- висновки;
- рекомендації;
- перелік посилань.

Доповнення розміщуються після основної частини пояснювальної записки.

ДСТУ регламентується пунктом 3.2 завдання на курсову роботу та дипломну роботу відповідно до ДСТУ 3008-95.

Правила оформлення пояснювальної записки включають такі вимоги:

1. Формат паперу А4 (210×297 мм). За необхідності допускається використання аркушів формату А3 (297×420 мм).

2. Пояснювальна записка виконується рукописним, машинописним, машинним способом на одній стороні паперу.

3. При машинному способі одержання пояснювальної записки текст друкують із міжрядковим інтервалом 1.5 на аркуші не більше 40 рядків, висота не менше, ніж 1.8 мм.

4. Текст пояснювальної записки повинен мати такі поля: верхнє, лівє та нижнє не менше 20 мм, правє не менше 10 мм.

5. При виконанні пояснювальної записки необхідно підтримувати рівномірну щільність, контрастність тексту.

6. Помилки, описки, графічні неточності повинні бути ретельно та акуратно виправлені.

7. Скорочення слів і словосполучень повинне бути виконане відповідно до існуючих стандартів бібліотечної й видавничої справи. ДЕСТУ 3582-97 «Скорочення слів в українській мові в бібліографічному описі. Загальні вимоги та правила».

8. Необхідно виконувати вимоги до рисунків, ілюстрацій і фотографій, вимог до реєстрації науково-дослідних робіт.

Доповнення включає деякі дані, які не є основними, але необхідними для одержання основних. Наприклад, це можуть бути дані результатів вимірювань.



Науково-дослідний звіт повинен супроводжуватися ключовими словами - 1, 2, 3 слова, які за змістом розкривають головну суть предмета найбільше точно або найбільше важливо.

## **9.2. Впровадження результатів дослідження у виробництво**

Форми впровадження НДР та ОКР можуть бути такі:

1. Використання у промисловості, народному господарстві.
2. Публікація у спеціалізованих виданнях (збірники, журнали, збірники конференцій, збірники симпозіумів).
3. Використання в навчальному процесі вищої школи.

Ефективність НДР та ОКР може виражатися:

- в економічному обчисленні (звичайно вважається річний економічний ефект, тобто впродовж року треба було експлуатувати за новою технологією);
- у вигляді підвищення надійності технологічної якості виробів, технологічних процесів;
- у вигляді соціальних результатів, пов'язаних із охороною праці, зменшення травматизму;
- у вигляді екологічних результатів (охороною навколишнього середовища, поліпшення життєдіяльності людини незалежно від місцевості).

Результати впровадження повинні бути оформлені відповідними документами і наведені у роботах (курсіві роботи, дипломні роботи, магістерські роботи).

## **ВИСНОВОК**

Відомий полярний дослідник Фрїтьєф Нансен залишив нам такі слова: «Краса кожної подорожі полягає у щасливому поверненні додому». Наша подорож за курсом «Основи наукових досліджень» закінчилася. Краса її полягає не в успішній здачі залїку, а у використанні його в НДР та ОКР. Побажаємо щасливого завершення цієї подорожі.

## Питання з дисципліни «Основи наукових досліджень»

1. Мета та завдання вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень».
2. Значення навчально-обумовлених методів для одержання нової інформації, для удосконалення технічних, технологічних та організаційних систем.
3. Теоретико-аналітичний підхід.
4. Експериментально-статистичний підхід.
5. Обчислювальний експеримент. Основні етапи проведення обчислювального експерименту.
6. Евристичний підхід. Основні характеристики евристичного підходу. Методи активізації творчої діяльності винахідника.
7. Пошук необхідної інформації на тему дослідження з існуючих джерел.
8. Формалізація об'єктів дослідження. Поняття складних систем, процесу, об'єкта.
9. Головні системні властивості складних систем: цілеспрямованість, ефективність, емергентність, функціональність і цілісність.
10. Головні системні властивості складних систем: ієрархічність, оптимальність, складність, статистичність, багатокритеріальність, невизначеність.
11. Використання методології системного аналізу при прийнятті рішень для складних взаємозалежних систем і процесів різної природи.
12. Основні завдання пошукового конструювання та технології.
13. Загальна постановка задачі оптимізації та математичного моделювання складних систем.
14. Вимоги до методології оптимізації та математичного моделювання.
15. Програмне забезпечення розв'язання задач оптимізації та математичного моделювання.

16. Алгоритм оптимізації складних систем методом випадкового пошуку.
- 17 Використання ЛП<sub>T</sub> рівномірно розподілених послідовностей.
18. Приклад проведення оптимізації складної системи методом випадкового пошуку.
19. Принцип побудови математичних моделей структурної складності  $(1+x_1)\dots(1+x_k)$  – експеримент  $2^k$ .
20. Аналіз і перевірка математичних моделей на адекватність, інформативність, стійкість і статистичну ефективність.
21. Скорочення необхідних витрат для одержання вихідних даних - експерименти  $2^{k-p}$ .
22. Приклад математичного моделювання системи або процесу із використанням експерименту  $2^k$ ,  $2^{k-p}$ .
23. Основні поняття та визначення.
24. Багатофакторні регулярні плани експерименту. Принцип побудови математичних моделей будь-якого високого порядку.
25. Визначення коефіцієнтів, аналіз і перевірка математичних моделей.
26. Вибір оптимальних початкових умов для одержання моделей високого порядку.
27. Приклади математичного моделювання систем і процесів моделями високого порядку.
28. Алгоритм і теорія вирішення дослідницьких завдань. Аналіз технічних протиріч. Синтез технічних рішень.
29. Морфологічний аналіз, послідовність його проведення.
30. Функціонально-кошторисний аналіз, послідовність проведення.
31. Основні вимоги до оформлення результатів наукового дослідження.
32. Введення результатів дослідження у виробництво.
33. Ефективність і критерії якості отриманих результатів.

## Типові теми розрахунково-графічних робіт

Типові теми розрахункових робіт з дисципліни “Основи наукових досліджень” можуть бути аналогічними таким:

1. Теоретико-аналітичний підхід одержання наукової інформації при проведенні досліджень.
2. Експериментально-статистичний підхід при дослідженні складних систем.
3. Обчислювальний експеримент при проведенні наукових досліджень.
4. Евристичний підхід одержання необхідної інформації у творчій діяльності науковця, винахідника, інженера.
5. Основні положення системного підходу при проведенні наукових досліджень.
6. Проблеми статистичного моделювання і їх рішення при вивченні складних систем.
7. Основні властивості повного факторного експерименту.
8. Критерії вибору дробового багатофакторного експерименту у завданнях моделювання складних систем.
9. Пошукові методи оптимізації у наукових дослідженнях.
10. Компромісна оптимізація систем, процесів, об'єктів.
11. Багатофакторні регулярні плани експериментів.
12. ЛП<sub>т</sub> рівномірно розподілені послідовності. Їх використання у завданнях оптимізації, моделювання та вивчення складних систем.
13. Алгоритм і теорія рішення винахідницьких завдань Г. С. Альтшулера.
14. Морфологічний аналіз у розробленні нових технічних і технологічних рішень.
15. Використання функціонально-вартісного аналізу при розробленні та удосконаленні технічних, технологічних систем і процесів.
16. Оптимізація та математичне моделювання вимірювано-геометричних параметрів і показників якості систем керування, оснащення, вузлів, агрегатів, приладів.

17. Досягнення найкращих показників якості, зменшення витрат сировини, матеріалів, енергії, підвищення продуктивності роботи при розробленні нових та удосконаленні існуючих технічних систем.

18. Зменшення витрат трудових, матеріальних, енергетичних ресурсів і зниження вартості при випробуваннях нової техніки: систем керування, оснащення, вузлів, агрегатів, приладів.

19. Оцінка стану (діагностика) діючих систем, об'єктів, виробів.

20. Атестація (багатофакторне математичне моделювання) контрольних-вимірних приладів та інформаційно-вимірних систем.

21. Обробка і статистичний аналіз результатів вимірювань, побудова математичних моделей багатофакторних градуйованих графіків.

22. Мінімізація функціонально-систематичних похибок при дослідженні складних характеристик машин, систем, об'єктів, процесів.

23. Використання багатокритеріальної оптимізації та багатофакторного математичного моделювання у системах автоматизованого проектування та керування (САПР, АСК).

24. Багатокритеріальна оптимізація технологічних процесів механічної обробки металів і матеріалів за такими критеріями, як точність, якість, продуктивність, собівартість.

25. Оптимізація та математичне моделювання технологічного оснащення, що використовується для випуску продукції.

26. Математичне планування та статистична обробка результатів комплексних багатофакторних випробувань при дослідженні впливу керованих змінних факторів на точність, стабільність та інші критерії якості роботи агрегатів, вузлів і виробів.

27. Топологічний метод стійкого оцінювання коефіцієнтів багатофакторного рівняння регресії в умовах мультиколінеарності факторів (алгоритми RASTA4, RASTA 5.1).

28. Топологічний метод стійкого оцінювання коефіцієнтів багатофакторного рівняння регресії в умовах мультиколінеарності факторів (алгоритм RASTA4K).

29. Стійке оцінювання коефіцієнтів статистичних моделей з використанням фіктивних факторів (алгоритм RASTA13).

30. Планування багатофакторного експерименту з використанням складних функцій.

31. Планування багатофакторного експерименту з використанням оптимальних координат факторного простору.

32. Алгоритм квазіортогонального планування експерименту в довільній опуклій області факторного простору (алгоритм RASTA10).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Основи научных исследований: учеб. для техн. вузов / В. И. Крутов, И. М. Грушко, В. В. Попов и др.; под ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. - М.: Высш. шк., 1989. - 400 с.
- 2 Білуха М.Т. Основи наукових досліджень: підруч. для вузів. - К.: Вища шк., 1997. - 271с.
- 3 Лудченко А.А. Основи научных исследований: учеб. пособие. - К.: Знання, 2000. - 114с.
- 4 Шейко В.М., Кушнарченко Н.М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності: підручник. - К.: Знання, 2004. - 307 с.
- 5 Маригодов В.К., Слободянюк А.Л. Основи научных исследований. - Севастополь: Севастоп. ГТУ, 1999. - 240с.
- 6 Свердан М. М. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / М. М. Свердан, М. Р. Свердан. - Чернівці : Рута, 2006. - 352 с.
- 7 Романчиков В. І. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / В. І. Романчиков. - К. : Центр навчальної л-ри, 2007. - 254 с.
- 8 Ковальчук В. В. Основи наукових досліджень : навч. посібник для студентів вузів / В. В. Ковальчук, Л. М. Моїсєєв. - 3-ге вид. - К. : Професіонал, 2005. - 239 с.
- 9 Філіпенко А.С. Основи наукових досліджень : конспект лекцій / А. С. Філіпенко. - К. : Академвидав, 2005. - 208 с.

- 10 П'ятницька-Позднякова І. С. Основи наукових досліджень у вищій школі: навч. посіб. для вузів / І. С. П'ятницька-Позднякова. - К. : Центр навч. л-ри, 2003. - 116 с.
- 11 Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы научных исследований и технического творчества» для студентов специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / составители: С. Г. Радченко, С. С. Добрянский, В. П. Приходько. – К.: КПИ, 1984. – 35 с.
- 12 Мальцев П. М., Смельянова Н. А. Основы научных исследований: учеб. пособие. – К.: Вища шк.: Головное изд-во, 1982. - 192 с.
- 13 Методические указания по курсу «Основы научных исследований», тема «Методологические основы развития науки» / составитель С. П. Полишко. – К.: КПИ, 1982. – 47 с.
- 14 Радченко С.Г Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем: навч.-метод. посіб. — К.: ІВЦ «Політехніка», 2001. — 88 с.
- 15 Згуровський М. З. Стан та перспективи розвитку методології системного аналізу в Україні // Кібернетика і системний аналіз. – 2000. – № 1. – С. 101–109.
- 16 Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ: учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1989. - 367 с.
- 17 Методические рекомендации по самостоятельному изучению дисциплин «Основы научных исследований и технического творчества», «Оптимизация и моделирование технологических процессов и объектов в машиностроении» для студентов специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / составители: С. Г. Радченко, С. С. Добрянский. – К.: КПИ, 1987. – 68 с.
- 18 Радченко С. Г. Математичне моделювання технологічних процесів у машинобудуванні. – К.: ЗАТ «Укрспецмонтажпроект», 1998. – 274 с.

- 19 Планирование, регрессия и анализ моделей PRIAM (ПРИ-АМ). SCMC-90; 325, 660, 668 // Каталог. Программные продукты Украины. Catalog. Software of Ukraine. – К.: СП "Текнор", 1993. - С. 24-27.
- 20 Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 111 с.
- 21 Альтшуллер Г. С. Найти идею: введение в теорию решения изобретательских задач. – Новосибирск: Наука, 1986. – 209 с.
- 22 Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
- 23 Креатология и интеллектуальные технологии инновационного развития: учеб. для вузов / Г.С. Пигоров, В.П. Козинец, А.Г Махмудов и др. – Днепропетровск: Пороги, 2003. - 502 с.
- 24 Булашенко А. В. Вдосконалення кредитно-модульної системи: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів; від. за вип.. Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.2. – С. 58 – 60.
- 25 Булашенко А. В. Синтезатор частоти з мікропроцесорним керуванням: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 127 – 130.
- 26 Булашенко А. В. Діалогічна взаємодія викладача і студента: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 56 – 59.
- 27 Булашенко А. В. Культурно-мовні проблеми України: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 203 – 204.



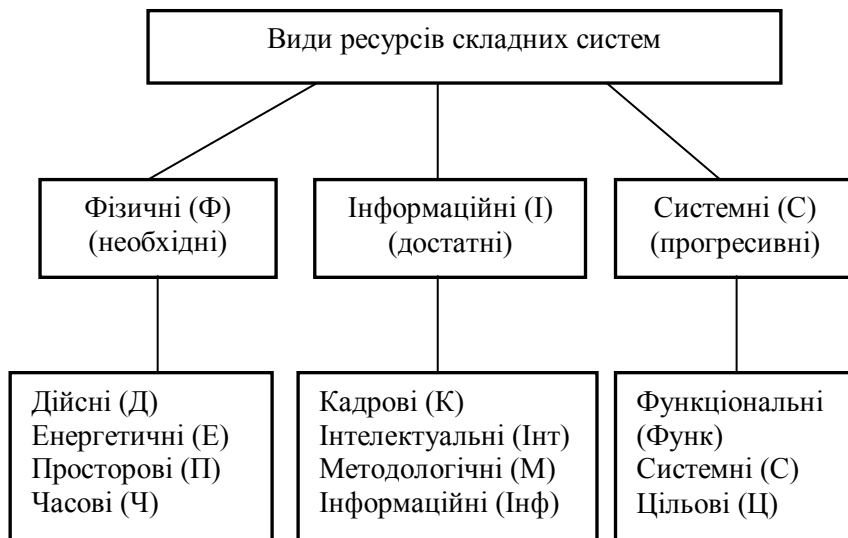
- 28 Булашенко А. В., Забегалов І. В., Федоров А. О. Ватметр з перетворювачами Холла: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів; від. за вип. Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – С. 46 – 48.
- 29 Булашенко А. В. Психологическое исследование личности студента: тези доповідей міжкафедрального семінару «Досягнення сучасної електроніки і методика викладання її у вищій школі». – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – С. 98 – 101.
- 30 Булашенко А. В., Коваль В. О. Ймовірнісна нейронна мережа: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 122 – 124.
- 31 Булашенко А. В., Забегалов І. В. Оценка точности вычислений: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 124 – 127.
- 32 Булашенко А. В., Забегалов І. В., Мезько О. В. Криптографічні перетворення на основі арифметики Фібоначі: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 117 – 119.
- 33 Булашенко А. В., Забегалов І. В., Мезько О. В. Основні властивості Р-чисел Фібоначі: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 120 – 122.
- 34 Булашенко А. В., Герасименко О. В. Частоти власних коливань друкованих плат: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 142 – 144.

- 35 Булашенко А. В., Забегалов І. В., Жук С. В. Моделювання некогерентного модулятора двусмугової амплітудної модуляції з передачею носійної: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 111 – 114.
- 36 Булашенко А. В., Глинчак С. В. Моделювання амплітудних модуляторів у середовищі MATLAB-Simulink: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів; від. за вип. Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – С. 55 – 57.
- 37 Булашенко А. В., Клишко С. В. Інформаційно-психологічний вплив: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 28 – 31.
- 38 Булашенко А. В., Дубровка Ф. Ф. Багатопроменева антенна решітка на мікросмугових лінзах Ротмана: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 105 – 107.
- 39 Булашенко А. В., Використання лінз Ротмана для живлення антенних решіток: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.1. – С. 114– 117.
- 40 Булашенко А. В. Адаптивні цифрові антенні решітки: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів; відп. за вип. Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – С. 44 – 45.
- 41 Булашенко А. В. Вибір типу опромінювача ФАР: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів; від. за вип. Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – С. 58 – 60.

- 42 Булашенко А. В. Побудова векторних діаграм за допомогою математичного пакета MathCAD: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 10 – 13.
- 43 Булашенко А.В. Принципи формування променя інтелектуальних антен // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 111-120.
- 44 Булашенко А. В. Навчальний посібник з ТЕМК: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; відп. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 122 – 124.
- 45 Булашенко А. В. Методичний комплекс з ТЕМК: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 111 – 112.
- 46 Булашенко А. В. Розроблення віртуальних лабораторних робіт з ТЕМК: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів; від. за вип. Т. М. Гричановська. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – С. 69 – 70.
- 47 Булашенко А. В. Інформаційна безпека: тези доповідей науково-методичної конференції викладачів, співробітників і студентів, 27 квітня 2010, КІСумДУ; від. за вип. Н. В. Барбара, О. С. Заїка. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.2. – С. 13 – 16.
- 48 Булашенко А.В., Дубровка Ф. Ф. Живлення антенних решіток на основі лінз Ротмана // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – 2010. – № 3, Т.2. – С. 113-120.
- 49 Булашенко А.В. Багатопробленеві антенні решітки на основі лінз Ротмана // Вісник НТУУ «КПІ». Серія – Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – 2010. – № 42. – С. 178-186.

**Додаток А**  
(обов'язковий)  
**Комплексне ресурсне забезпечення створення та функціонування складних систем**

Види ресурсів складних систем наведені на рис. А.1.



*Рисунок А. 1*

Структура моделі  $Y(y_1, \dots, y_p) = f_i(\Phi, I, C)$  ресурсного забезпечення критеріїв якості технологічної системи та випуску продукції

$$(1 + \Phi) \cdot (1 + I) 1 + \Phi + I + C + \Phi I + \Phi C + IC + \Phi CI \quad 23//8,$$

де  $Y(y_1, \dots, y_p)$  – вектор ефективності функціонування технологічної системи і якості продукції, що випускається нею,  $1 < j < p$ ;

1 - символ початку відліку критерію якості;

$\Phi$  – необхідність (система верстат-пристрій-інструмент-заготовка);

I – достатність (принципи, методологія, алгоритми, програмне забезпечення);

## Продовження додатка А

$C$  – прогресивність досягнення поставлених цілей ( $C_1, C_2, C_3$  – послідовність розвитку технологічної системи);

$\Phi I$  – оптимізація фізичних ресурсів,  $\Phi$ -*min*;

$\Phi C$  – мінімізація  $\Phi$ ,  $\Phi$ -*min* (ідеальний кінцевий результат  $\cong 0$ );

$IC$  – створення  $C$ , тобто  $C > 0$ ; якщо  $I$ -*max*, то  $C$ -*max*;

$\Phi IC$  – системність створення і функціонування складної системи,  $Y(y_1, \dots, y_p)$  – *opt* ;

«+» – наявність мнемонічних ресурсів;

«-» – відсутність мнемонічних ресурсів.

План 23//8, де

2 - кількість рівнів;

3 - кількість факторів;

// - розділовий знак;

8 - кількість дослідів.

**Додаток Б**  
**(Обов'язковий)**  
**Взаємодія ресурсів**

Взаємодія ресурсів у функціонуванні критеріїв якості складних систем і продукції, що випускається (рис. Б.1).

Чим більше інформації, тим більше системних ресурсів.

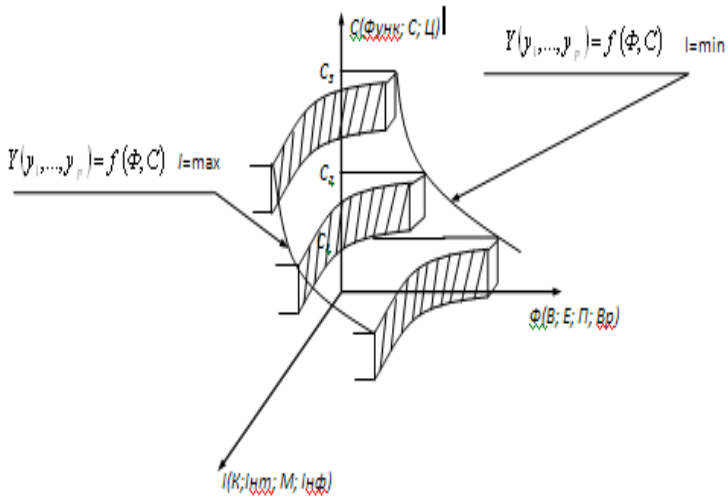
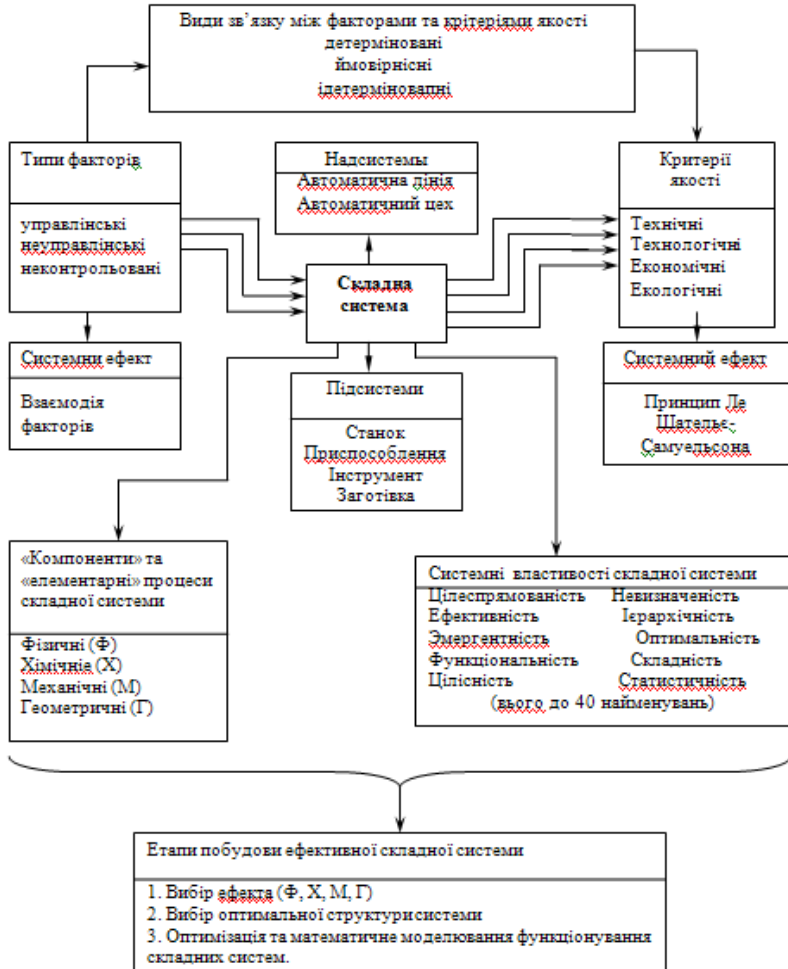


Рисунок Б.1

**Додаток В**  
(обов'язковий)

**Інформаційна модель складної системи**

Інформаційна модель складної системи подана на рис. В.1.



*Рисунок В.1*

**Додаток Г**  
(обов'язковий)

**Методика одержання багатofакторних математичних моделей при використанні експериментально-статистичного підходу**

*Послідовність проведення*

1. Формулювання змістовної в термінах спеціальності цілі дослідження.

Вирішуємо завдання для конкретної предметної області. Аналіз доцільності використання інших підходів для одержання необхідного рішення. Необхідно продумати, який підхід використати, можливе, використання декількох підходів. Формалізація завдань.

2. Збір та аналіз апріорної інформації про об'єкт дослідження.

Уточнення постановки завдання та її формальний запис. Тут мається на увазі моделювання чи оптимізація. Апріорно означає переддослідна. Формулювання класу завдань (оптимізація, модулювання та ін.).

3. Вибір необхідних критеріїв якості, відгуків, які характеризують близькість об'єкта до сформульованої мети та фактор незалежних змінних, які впливають на ці критерії якості. Аналіз у спільній області існування факторів. Якщо область нестандартна, то необхідно вибрати стійкі методи оцінювання моделі.

4. Постулювання структури рівняння регресії, тобто математична модель.

Визначення можливості послідовного експерименту, якщо обрана структура математичної моделі буде неадекватна. Якщо постулювання структури математичної моделі неможливе, необхідно використати алгоритми RASTA3 і ПС «ПРІАМ».

5. Визначення критеріїв оптимальності плану експерименту.

Пошук і вибір плану експерименту. Якщо необхідний план відсутній, то його необхідно генерувати з використанням ПС «ПРІАМ».



## Продовження додатка Г

6. Вибір методу обробки вихідних даних.

Вибір програми, за допомогою якої обробляються експериментальні дані.

7. Підготовка та проведення експерименту.

Експеримент дає вихідну інформацію. Дослідження проводимо у випадковій послідовності. Здійснюємо розбиття блоку експериментів на ортогональні блоки для підвищення якості за рахунок зменшення СКВ.

8. Перевірка передумов використання обраного методу обробки даних.

Відсутність грубих помилок, відповідність, рівність дисперсії відтворюваності за всіма рядами дисперсії. Без передумов завдання не може бути поставлене. Важливо застосувати методи та засоби, які дозволили б послабити негативні властивості від того, що передумови не виконуються.

9. Обробка результатів експериментів на ЕОМ.

Аналіз результатів обчислення.

10. Аналіз та інтерпретація отриманих результатів.

11. Прийняття рішень щодо подальших дій.

Якщо отримана модель неадекватна, то проводимо повторні дослідження (адекватність - ознака того, що модель гарна).

Для розв'язання цих задач потрібна практика або консультант.

**Додаток Д**  
(обов'язковий)

**Приклади використання основ наукових досліджень для створення високої технології**

Приклад використання основ наукових досліджень для створення високої технології: математичне моделювання та оптимізація технологічних умов антифрикційного плосковершинного хонінгування гільз циліндрів двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Критерії якості

$y_1(\tau)$  - задиростійкість поверхні дзеркала циліндра ДВЗ, С.

$$y_1(\tau) \rightarrow \max .$$

$y_2(f_0)$  - коефіцієнт тертя вихідної поверхні.  $y_2(f_0) \rightarrow \min$ .

$y_3(f)$  - коефіцієнт тертя припрацьованої поверхні.

$$y_3(f) \rightarrow \min .$$

$y_4(t_{np})$  - час припрацювання, хв.

$$y_4(t_{np}) \rightarrow \min .$$

$y_5(I_{нк})$  - інтенсивність зношення поверхні контрасту.

$$y_5(I_{нк}) \rightarrow \min .$$

Однокритеріальна оптимізація

$$\bar{y}_j = f_j(x_1, \dots, x_{10}) \rightarrow \text{extr}, \quad 1 \leq j \leq 6.$$

Багатокритеріальна компромісна оптимізація

$$\bar{y}(y_1, \dots, y_6) = f_j(x_1, \dots, x_{10}) \rightarrow \text{extr}, \quad 1 \leq j \leq 6.$$

Як план експерименту використовувалися багатofакторні регулярні плани (БРП):

$$МРП : 6^1 \times 3^6 \times 2^3 // 54, \quad N_{\Pi} = 34992.$$

## *Продовження додатка Д*

Статистична ефективність плану експерименту  $\varphi=0,994$ .

Максимальна ефективність  $\varphi=1$ .

1 фактор на 6 рівнях, 6 факторів на 3 рівнях, 3 фактори на 2 рівнях, усього 54 досвіди.

Маючи 6 математичних моделей і використовуючи ЛП (рівномірно розподілену послідовність) була проведена багатокритеріальна компромісна оптимізація.

Були розраховані 8 результатів, дані результатів були представлені у вигляді факторів.

Системний підхід: є багатофакторним і результативним. Такі результати були дані для заводів.

У тих випадках, коли не знаємо які будуть умови обробки, були дані оптимальні значення параметрів процесу АДХ при обробці чавуну гільз ДВС.

Упродовж року було виконано 160 тис. гільз і отриманий економічний ефект. Прибуток - 839 тис. рублів на російському заводі «Червоний дизель». Скрізь були отримані позитивні результати.

Дослідження показали, що зношування гільз та кільця зменшується в 1.8 - 2.4 раза.

Навчальне видання

# **ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів напрямку 0502 «Системна інженерія»

спеціальності 6.050201

«Комп'ютеризовані системи управління та автоматики»  
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск Г. М. Худолей

Редактор Н. В. Лисогуб

Комп'ютерне верстання А. В. Булашенка

Підп. до друку 22.08.2011, поз.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. . Обл.-вид. арк. . Тираж 40 пр. Зам. №  
Собівартість видання грн к.

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Сумський державний університет  
Шосткинський інститут

А. В. Булашенко

# **ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Суми  
Сумський державний університет  
2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Сумський державний університет  
Шосткинський інститут

До друку та у світ  
дозволяю на підставі  
«Єдиних правил», п.2.6.14  
Заступник першого проректора -  
начальник організаційно-методичного  
управління

В. Б. Юскаєв

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
для студентів напрямку 0502 «Системна інженерія»  
спеціальності 6.050201  
«Комп'ютеризовані системи управління та автоматики»  
усіх форм навчання

Усі цитати, цифровий  
та практичний матеріал,  
бібліографічні  
відомості перевірені,  
написання одиниць  
відповідає стандартам

Укладач

А.В. Булашенко

Відповідальний за випуск

Г.М. Худолей

Директор Шосткинського інституту

В. Л. Акуленко

Суми  
Сумський державний університет  
2011